

# HEMEINSPEÇÃO POR ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS EM CILINDROS PARA LAMINADORES (AÇO FORJADO)<sup>1</sup>

Luiz Henrique Pereira Bicudo<sup>2</sup>

## Resumo

O presente trabalho refere-se à inspeção de cilindros para laminadores em aço forjado, objetivando garantir maior confiabilidade na detecção de falhas internas e ou externas. As técnicas utilizadas por líquidos penetrantes, Ultra-som e partículas magnéticas são baseadas em conceitos e normas, porém, a prática para tais inspeções não habilita o operador a realizar outros tipos de inspeções, tais como vaso de pressão, etc... Busco aqui enfatizar a confiabilidade do ensaio por Ultra-som mediante a utilização de blocos para calibração; o que possibilita determinar com precisão a posição e aproximar o dimensional de falhas internas. A experiência comprova que, este ensaio associado ao conhecimento dos principais defeitos e ocorrências durante o processo de laminação colaboram para a garantia da integridade da ferramenta a utilizar (cilindros). Conceitos clássicos de tensões atuantes durante o processo e formação de "spalling" (lascamento) quando de conhecimento do técnico envolvido na responsabilidade da inspeção, ajuda na seleção e escolha do cabeçote a utilizar.

**Palavras-chave:** Cilindros de laminação; Inspeção; Ultra-som; Lascamento.

## TRIAL INSPECTION NOT DESTROYED IN ROLLING MILL CYLINDERS (FORGED STEEL)

### Abstract

This report refers to forged steel rolling cylinders inspection, which aims to guarantee major reliability to detection internal and external defects. The technicals applied by penetrating liquid, ultrason and magnetic particles are based on concepts and procedures, thus, the techniques to these inspections don't enable the operator to do another kinds of inspections (pressure vessel, welding, etc). I wish to enfranchise the reliability of the trial by ultrason for to use calibration blocks to allow detemining a precision position and to reach internal internal failures. The experience shows us that this trial connected to the knowledge of the main defects and occurrences during the rolling process sipport to avoid fails and to guarantee the tools rolling reliability. Classics stress concepts that can be actued during the process and the possibility of spalling formation when the technical knowledge with people involved and responsible for the inspection, helps to select and choose of the indicated probe to be applied.

**Key words:** Rolling cylinders; Inspection; Ultrason; Spalling.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 45º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 21 a 24 de outubro de 2008, Ipojuca - Porto de Galinhas - PE*

<sup>2</sup> *Engº Diretor da empresa Hemec montagens e inspeções por End's*

# 1 INTRODUÇÃO

Cilindros para laminação são ferramentas imprescindíveis no processo de laminação, sendo estes solicitados a grandes esforços durante o processo, são responsáveis por altos custos de processo e diretamente influenciam no resultado final do produto laminado.

Os esforços a que são solicitados são responsáveis por perdas prematuras e merecem atenção especial.

Inspeções visuais, e alguns ensaios não destrutivos, contribuem para amenizar estas perdas quando bem aplicadas, e ainda podem, quando bem interpretados e rastreados, indicar outros as fontes do problema, quando tratamos de fatos repetitivos.

A fadiga, os fenômenos térmicos e indicações que são nucleadas nesta ferramenta (CILINDRO) são detectadas facilmente por métodos simples e eficientes, porém, a informação e o conhecimento destes fatos devem ser de conhecimento do pessoal de operação, pois são os que executam tais inspeções.

Defeitos, indicações e ou descontinuidades não surgem por acaso no corpo de um cilindro, porém, a correta interpretação por parte da operação é que resultará em ótimos resultados, quer seja na remoção e recuperação do cilindro e ou na prevenção da continuidade de um determinado problema.

Digo que a repetitividade de acidentes com cilindros, quando bem interpretados e rastreados, pode antecipar e evitar grandes paradas de equipamentos, pois o sintoma de um provável problema no laminador reflete diretamente no cilindro.

Referente aos cilindros de Trabalho, estas indicações (defeitos, descontinuidades) ocorrem com frequência na mesa de laminação e próximo as bordas, o que geralmente quando não detectadas culminam no seu lascamento (spalling) prematuro devido a alta dureza.

Para Laminadores de chapas as ocorrências nas bordas ou próximas ao chanfro geralmente são nucleadas por choque entre cilindros e ou acidente similar, não necessariamente será detectado a descontinuidade em forma de trinca, porém, um aquecimento localizado que gera uma mudança na estrutura quando não eliminado certamente nucleará uma descontinuidade do tipo trinca, para tanto, deve-se fazer uso do ataque ácido com Nital 2,5% a 3,0%, outros ensaios podem ser realizados como por exemplo "eddy current", mas, neste trabalho não tratarei do assunto.

Laminadores de folhas trabalham praticamente com contato o que propicia o surgimento de descontinuidades nas bordas e ou na circunferência do chanfro, devido as tensões de contato.

Referente aos cilindros de apoio estas ocorrências são de menores intensidade devido a sua dureza ser mais baixa e o material mais dúctil, todavia, não está descartada a inspeção em sua mesa de contato. Ocorrências mais comuns nestes tipos de cilindros são a ruptura do pescoço e para este tipo de inspeção o operador deve ter pleno conhecimento da sua geometria para uma inspeção confiável.

Defeitos do tipo "flocos" podem ocorrer em ambos os cilindros e merecem uma investigação das ocorrências. O acompanhamento destas ferramentas (cilindros) deve ter início na inspeção de recebimento, somente assim pode-se ter uma perfeita rastreabilidade e um histórico.

Varias empresas atuam desta maneira e os resultados são positivos pois, muitos acidentes podem e devem ser evitados, tanto para garantir a integridade do cilindro quanto, para se evitar danos físicos.

## 2 INSPEÇÃO DE CILINDROS

As inspeções de recebimento contribuem para o histórico do cilindro além do que permite acompanhar qualquer descontinuidade que porventura ocorram durante seu processo de fabricação.

Estas inspeções sempre devem ser realizadas após remoção da camada de protetivo existente na superfície do cilindro, sendo a remoção realizada através de retífica do cilindro.

### INSPEÇÕES A SE REALIZAR NO RECEBIMENTO DE CILINDROS

1. Ondas superficiais (PROBE MWB90-2MHZ OU WB)  
Sentido de inspeção - longitudinal e transversal
2. Ondas longitudinais (MSEB 4H ou SEB 4H)
3. Ondas Transversais (MWB45-2/MWB60-2)

OBS.: CILINDROS AÇOFORJADO VC8-VC9

REGIÕES A INSPECIONAR:

A inspeção da camada temperada e núcleo deve ser realizada sempre com cilindro girando, sendo:

Percurso sônico (S) (escala de trabalho) para inspeção da camada temperada

$$S = C$$

SENDO C = CAMADA TEMPERADA

Na inspeção interna a escala deve ser de no mínimo o raio do cilindro

OBS.: A RUGOSIDADE É IMPORTANTE PARA UMA BOA DEFINIÇÃO NA RESPOSTA RUGOSIDADES  $\geq 22\mu\text{inch}$  são consideradas superfícies ideais para inspeção.

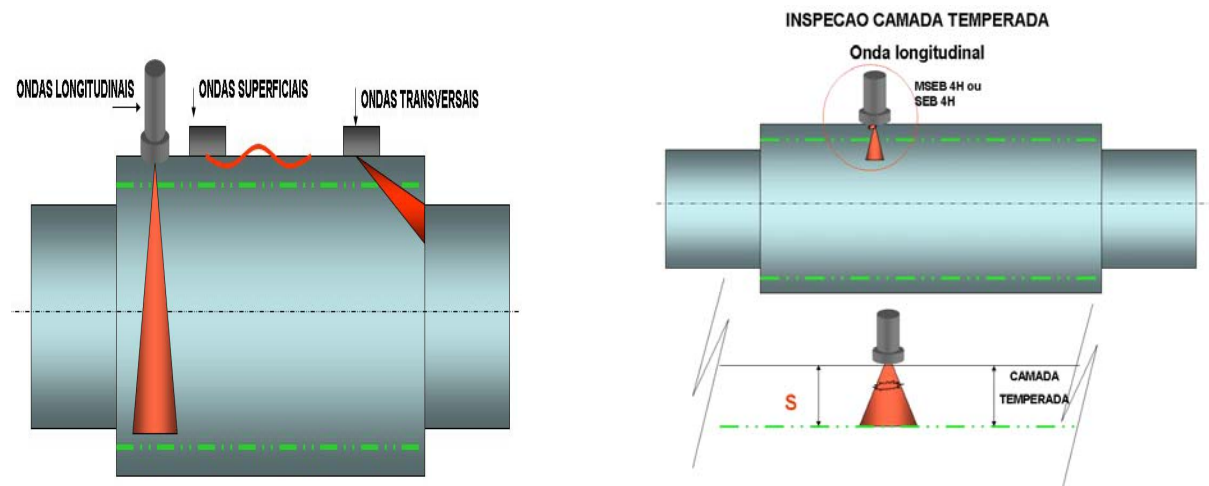
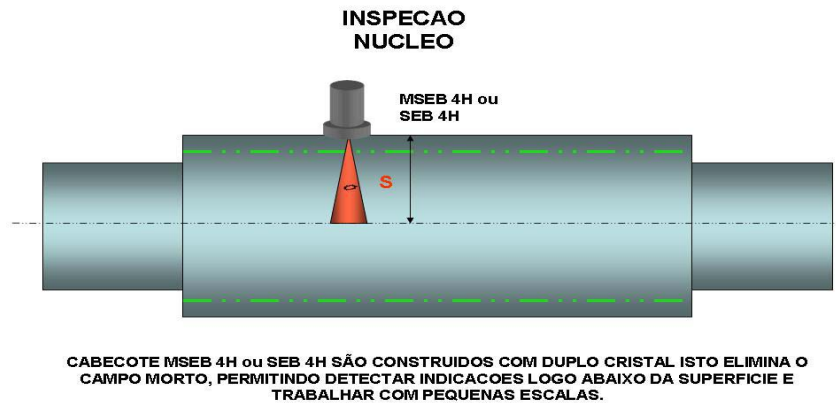


Figura 1 – Detalhe da inspeção interna, raio de concordância e camada temperada

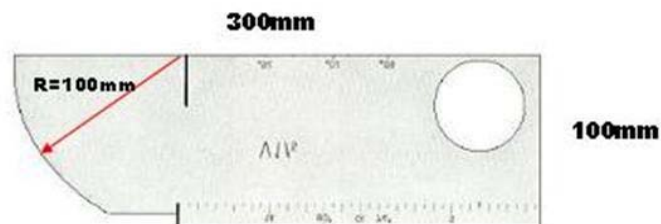


**Figura 2** – Detalhe inspeção núcleo

Para a inspeção dos cilindros por Ultra-som utilizamos o método PULSO ECO, à determinação do melhor cabeçote a utilizar; no caso de angulares depende da geometria da peça (para raios de concordância). A eficiência e precisão dos resultados depende da escala de trabalho e da calibração do aparelho que deve ser de domínio do operador.

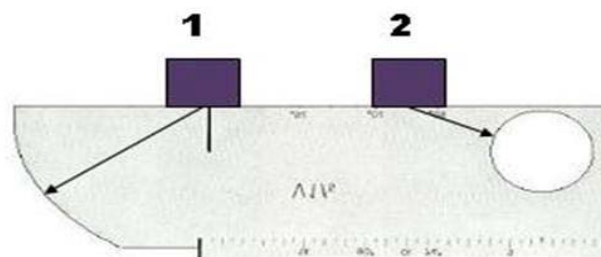
Como referência utilizamos o bloco V1.

## CALIBRRAÇÃO DA ESCALA



**Bloco de Calibração V1 - Norma DIN 54120 ou BS-2704**

O Bloco V1 deve ser utilizado para calibrar as escalas na tela do aparelho usando as dimensões padronizadas, mas também verificar a condição do transdutor angular, com respeito ao ponto de saída do feixe sônico (posição 1 da figura) e a verificação do ângulo de refração do transdutor (posição 2 da figura). Em geral + 2 graus é tolerável.



**Verificação do ponto de saída do feixe sônico e ângulo do transdutor**

**Figura 3** – Detalhe calibração com bloco V1

O conceito básico do ensaio por Ultra-som consiste em calibrar o aparelho e a sensibilidade para detectar possíveis defeitos na peça, claro que o conhecimento acima não da condição técnica para realizar inspeções em juntas soldadas, serve apenas como conhecimento pois não é nosso objetivo qualificar inspetores para tais inspeções que são de grande responsabilidade, porém, serve como parâmetro para avaliar o que seu técnico e ou inspetor esta realizando.

Visto ainda que, nosso objetivo não se trata de soldas e sim de cilindros para laminadores, que apresentam características próprias de defeitos.

Estou certo de que tais inspeções não podem ser realizadas a revelia e sim por profissional especializado e que sabe o que está procurando, os tipos de defeitos que cilindros para laminação apresentam, conceitos básicos de concentração de tensão e prática pois realizar inspeção em cilindros não se resume apenas em dizer se existe ou não um defeito e sim avaliar a gravidade deste. Saber mapear e monitorar um defeito dando certo grau de confiabilidade a peça (cilindro), saber realizar outros ensaio citados neste capítulo e saber avaliar o que pode ser apenas escareado e ou deve ser removido totalmente via um desbaste.

## ESFORÇOS DURANTE A LAMINAÇÃO

As tensões atuantes durante o processo de laminação foram estudadas por hertz conforme modelo abaixo.

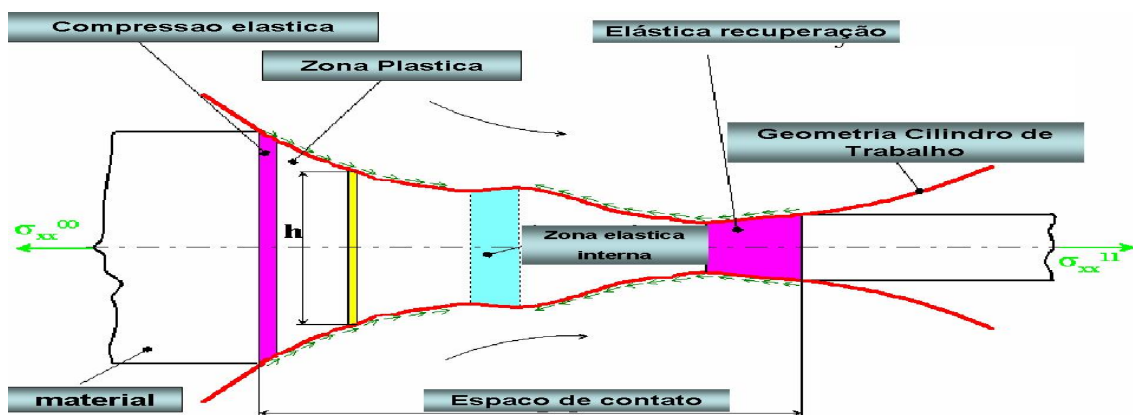
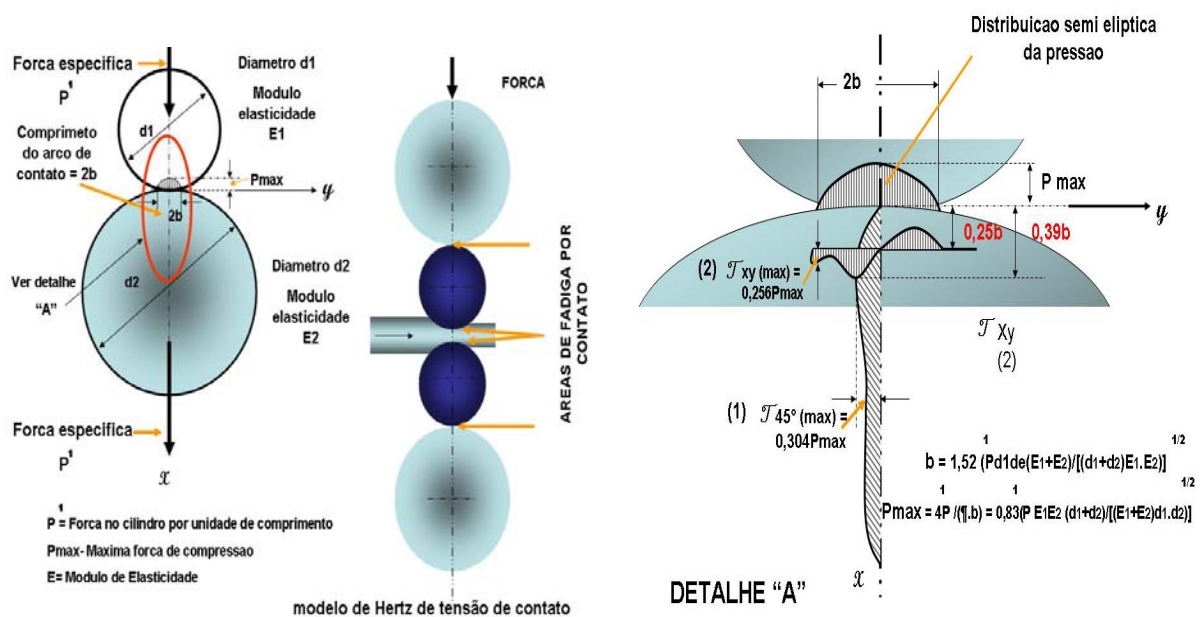


Figura 4 – Esforços atuantes nos cilindros durante laminação

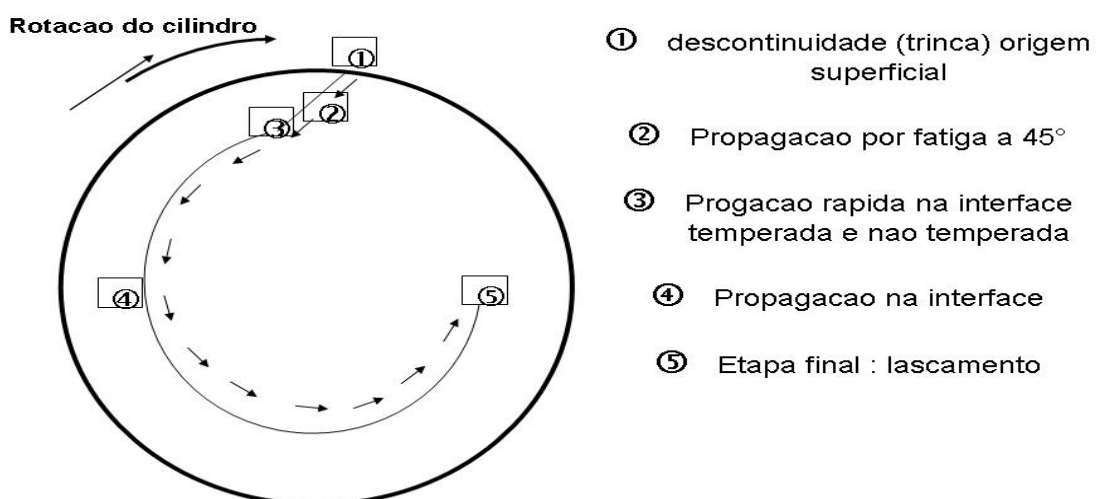


**Figura 5** – Esforços atuantes nos cilindros durante laminação – Forças de Hertz

De fato muitas indicações não são visíveis a olho nu, tão pouco reveladas com ensaios por líquido penetrante, (lembrando que a tensão residual na superfície deste tipo de cilindro é de compressão, o que não é favorável a este tipo de ensaio). justamente pelo fato da maior tensão de cisalhamento ocorrer abaixo da superfície existe a necessidade de uma inspeção criteriosa. Inspeções realizadas em regiões acidentadas devem ser feitas fazendo uso de transdutores duplo cristal, e com pequenas escalas de trabalho.

Todos os cilindros já inspecionados que apresentaram qualquer indicação por Ultra-som não visível e não reveladas por outro método de ensaio, deve ser plenamente removidas e confirmadas pelo método Ultra-som.

## SPALLING conceito classico



**Figura 6** – Conceito classico da formação de Spalling

## EXEMPLO DE FRATURA INICIO SUPERFICIAL E INTERNO

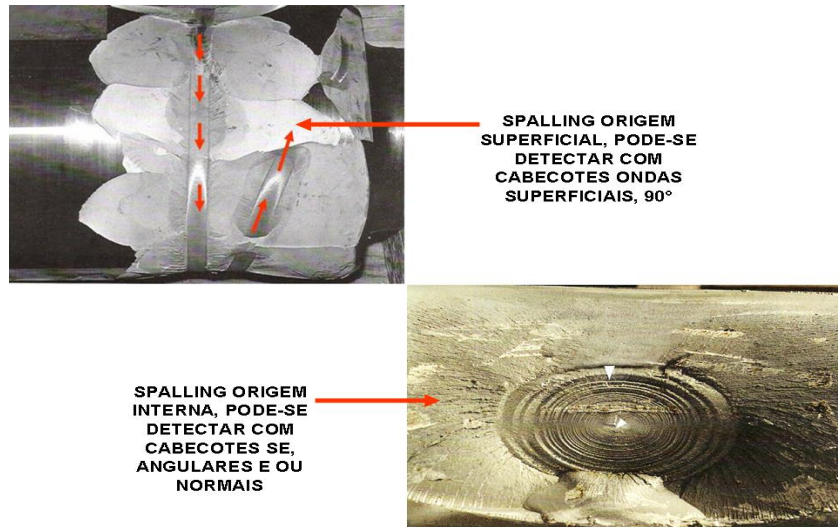
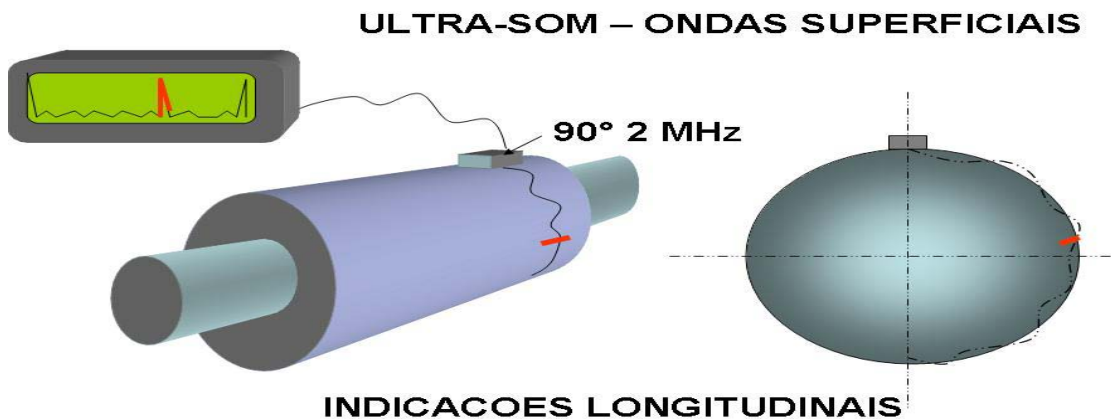


Figura 7 – Spalling origem superficial e interna

## INSPECAO POR ULTRA-SOM ONDA SUPERFICIAL

A inspeção dos cilindros deve ser feita de maneira que se tenha sempre uma referência, o que no caso será o ECO DE FUNDO. Para cilindros a onda superficial percorre apenas 180° da sua circunferência, a precisão do ensaio esta na percepção e habilidade do operador em manter o eco de fundo sempre em sua maior amplitude o que garante a perpendicularidade do cabeçote. A ausência de eco de fundo deve ser investigada.



Para cabeçotes 2 MHz penetração de 2 mm para 4 MHz penetração 1mm

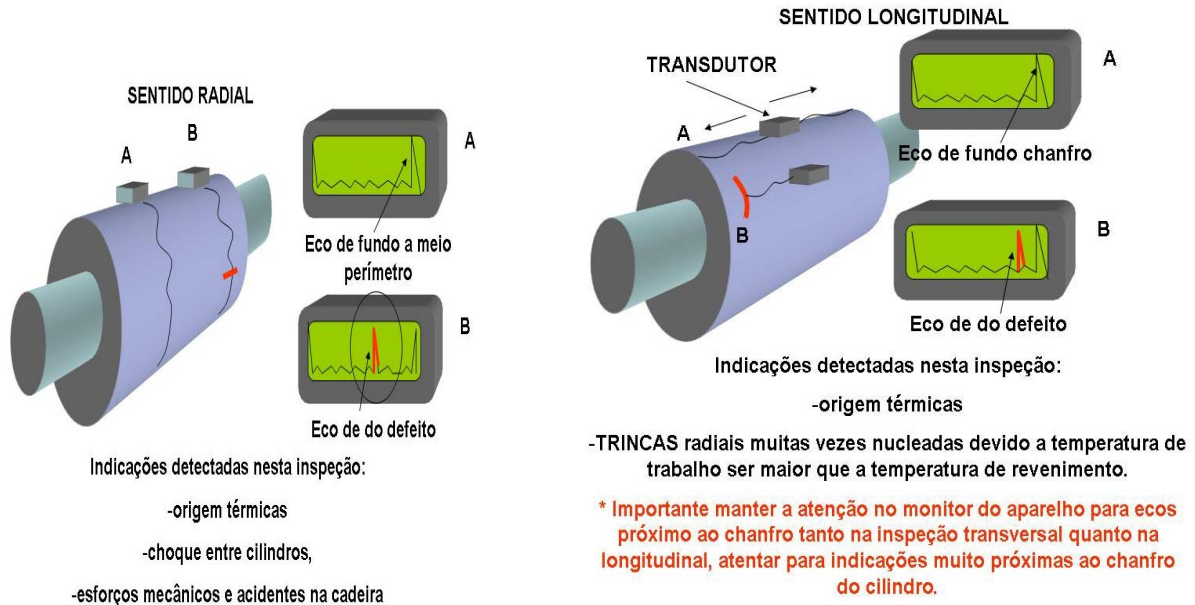
Figura 8 – Detalhe propagação de ondas superficiais em cilindros

**OBS.:** – O GANHO DE INSPEÇÃO DEVE SER AJUSTADO AO ECO DE FUNDO A 100% DA TELA, atentando sempre ao eco de fundo para não perder a referência de posição do cabeçote.

Quando se mantém o eco de fundo visível e próximo a 100% da tela confirmamos que o cabeçote esta perpendicular ao eixo do cilindro, este procedimento diminui erros de ensaios e evita que pequenas trincas passem sem serem detectadas.

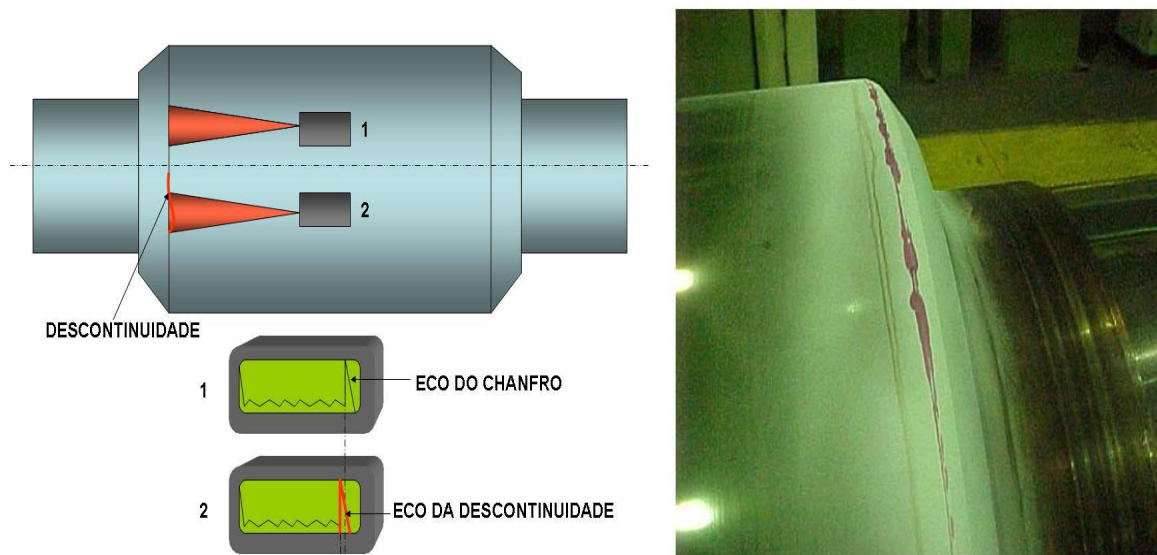
Lembrando sempre que, podemos ter grandes e ou pequenas discontinuidades e estas são as que passam despercebidas nos ensaios e culminam em "spallings" de grandes proporções.

## SENTIDO DE INSPEÇÃO E PROVÁVEIS DESCONTINUIDADES



**Figura 9** – Detalhe de indicação de discontinuidades na tela do aparelho

## PRÓXIMAS AO CHANFRO

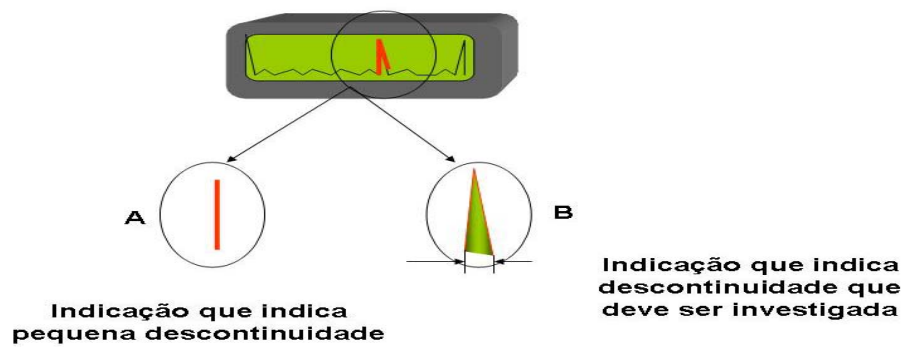


**Figura 10** – Detalhe de indicação de discontinuidades na tela do aparelho próximo ao chanfro

## TIPOS DE ECOS

As respostas na tela do aparelho podem ajudar a definir ou aproximar a realidade do problema. Ecos com base estreita podem indicar pequenas discontinuidades onde o operador tem noção da quantidade de material a remover, ecos com base "larga" frequentemente são indícios de discontinuidades maiores.





Obs. – situações em que a remoção de 1mm de material em seu raio não removem o defeito deve-se confirmar com duplo cristal (mseb4H).

Figura 11 – Detalhe da resposta na tela do aparelho para diferentes descontinuidades

## INSPECIONAR POR ONDAS SUPERFICIAIS LONGITUDINALMENTE E TRANSVERSALMENTE

Sendo uma descontinuidade do tipo trinca é importante realizar a inspeção por ondas longitudinais nos sentidos longitudinal e transversal ao cilindro, assim pode-se acompanhar sua remoção completa sem correr o risco de não remover totalmente uma possível trinca.

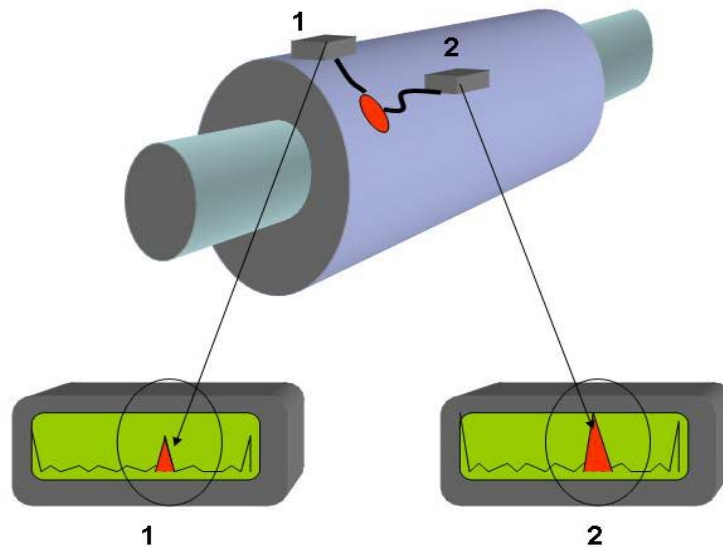


Figura 12 – Identificando o lado de maior reflexão

## DETERMINAR SE A DESCONTINUIDADE É TRINCA OU INCLUSÃO

É importante determinar se a descontinuidade trata-se de uma trinca ou uma inclusão, o método de rastrear o eco na tela correndo o dedo sobre a peça não satisfaz esta condição pois uma trinca é algo muito pequeno, para tanto, um método simples é utilizado. Trata-se de correr algo de ponta fina (desde que se faça ver na tela do aparelho), no exemplo utilizamos a ponta de um lápis o qual delimita a descontinuidade.

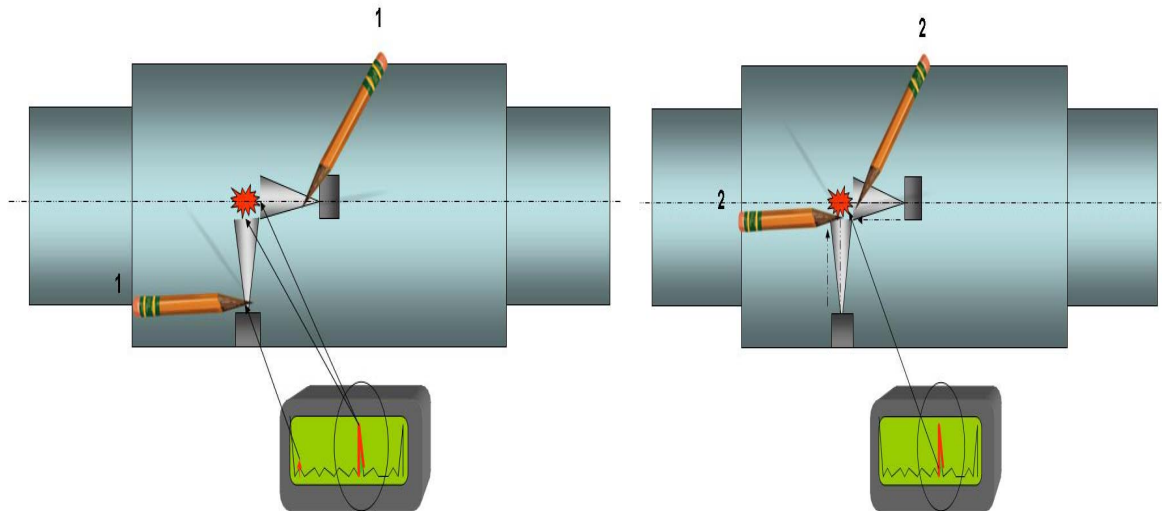


Figura 13 – Desenhando uma indicação

### TAMANHO DE DESCONTINUIDADES INTERNAS TECNICA DOS 6 Dbs

Saber a posição das descontinuidades internas bem como seu tamanho e de suma importância para a decisão de utilizar ou não o cilindro, bem como para monitorar possíveis progressões. Em inspeções já realizadas constatamos a precisão desta técnica ao afastar um cilindro com defeito a aproximadamente meio raio, com furo de fundo plano equivalente a 12 mm. O cabeçote utilizado foi B2SN.

O TAMANHO DO DEFEITO – TECNICA 6 Dbs

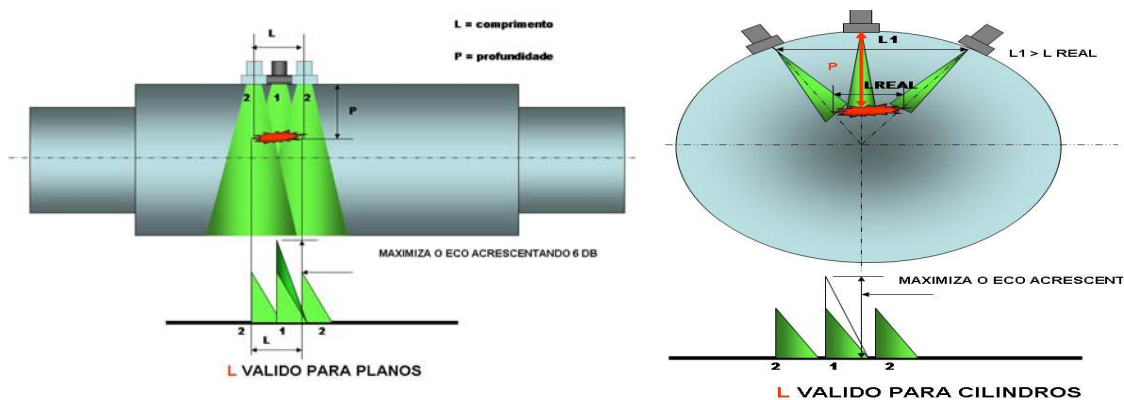


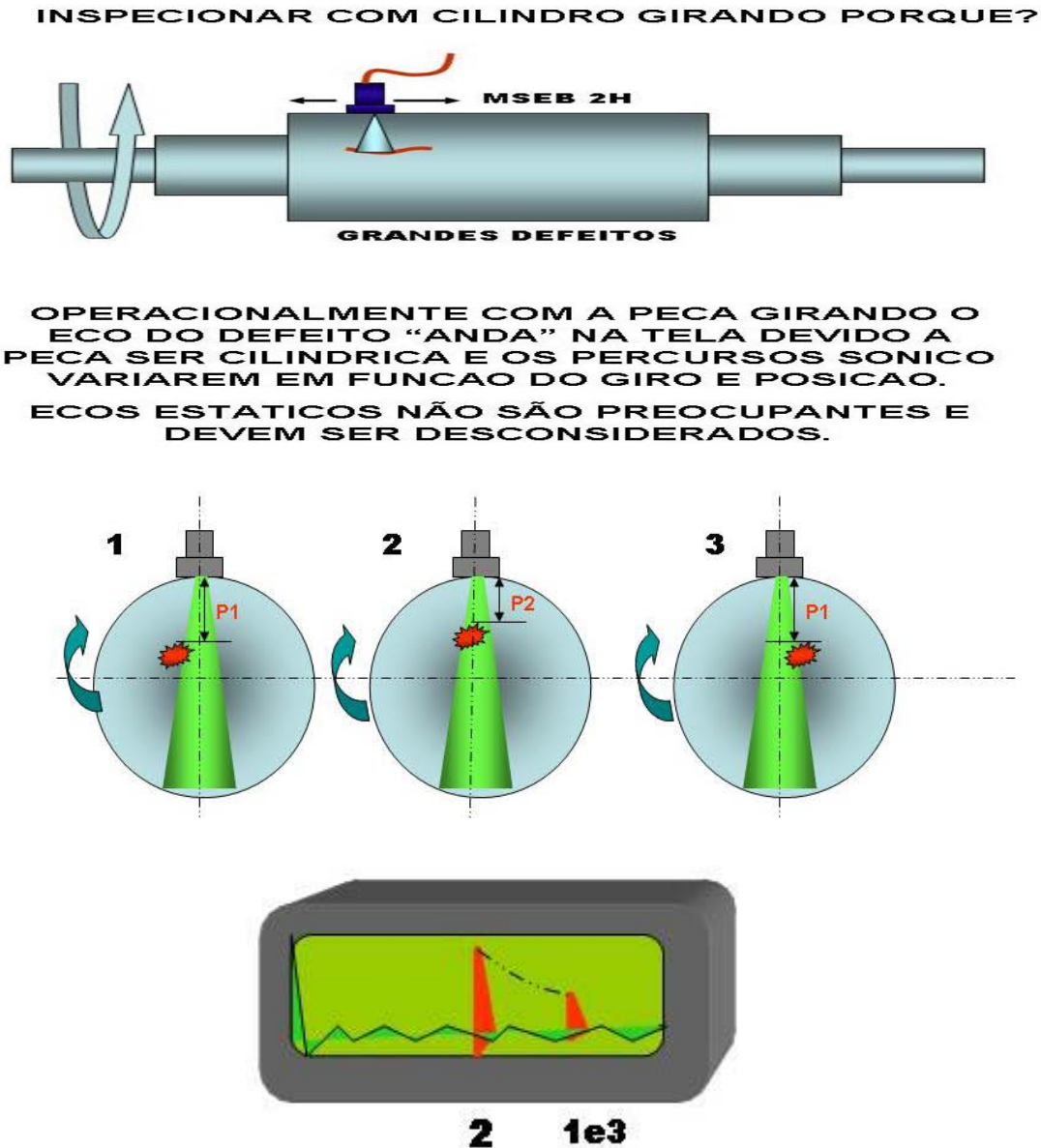
Figura 14 – Determinando o tamanho de descontinuidades internas

PORTANTO, PARA CILINDROS DEVE-SE PROJETAR O CILINDRO EM UM PLANO OU CAD E OS VALORES DE P E L1 PROJETADOS PARA SE DEFINIR O TAMANHO REAL DA DESCONTINUIDADE

### INSPEÇÃO DE CILINDROS GIRANDO, POR QUÊ?

Cilindros de laminação são peças em sua maioria grandes e dificilmente pequenos defeitos são identificados devido à variável de pressão da mão sobre o cabeçote e deslocamento do cabeçote. A técnica de se inspecionar o cilindro girando quer sobre a retífica ou outro equipamento e até mesmo um dispositivo, facilita a identificação de descontinuidades e sua interpretação. Ecos de resposta estáticos, ou seja, sinais que surgem aleatoriamente em sua maioria são descartados como possíveis

defeitos. Quando se inspeciona o cilindro girando a mão do operador permanece fixa e seu olhar somente no aparelho, ecos que literalmente **ANDAM** na tela ou se deslocam em movimento harmônico são preocupantes e com certeza trata-se de uma descontinuidade desde que este não seja parte integrante do cilindro, como um furo para travar um anel por exemplo.



**Figura 15** – Detalhe do deslocamento do eco na tela do aparelho com cilindro girando

### **INSPEÇÃO DO RAIOS DE CONCORDÂNCIA**

A dificuldade de acesso nesta região, impossibilita outro tipo de ensaio que não seja o ULTRA-SOM.

- É importante realizar a inspeção de recebimento para que o operador monitore qualquer indicação nesta região.
- Também seria interessante realizar uma inspeção sem o anel labirinto com líquido penetrante e partículas magnéticas. Uma inspeção visual quando feita deve-se atentar para riscos de usinagem no raio de concordância.
- Grande dificuldade também devido o vazio entre ANEL X CILINDRO ser preenchido com graxa.

As medidas **A** e **B** são de suma importância ao operador pois trata-se da região de maior concentração de tensão portanto sujeito a nucleação de trincas.

OBVIAMENTE SÃO OBTIDAS EM CAD OU SIMILAR.

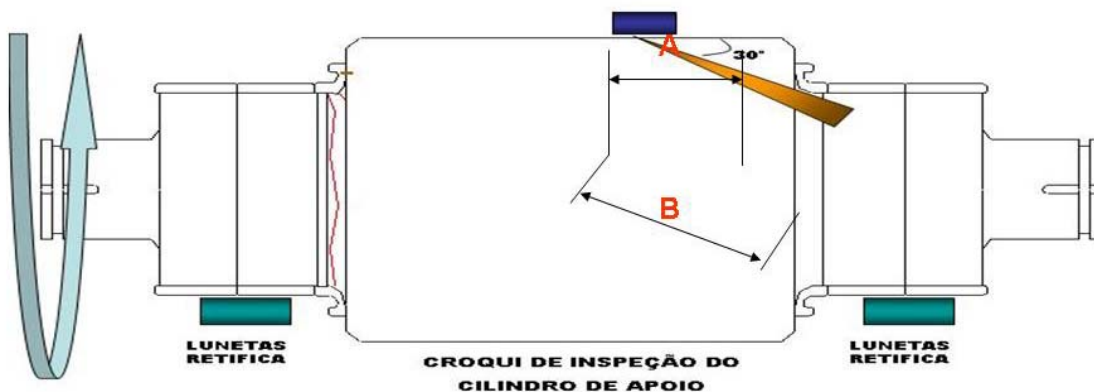


Figura 16– Inspeção do raio de concordância para cilindros com anel labirinto

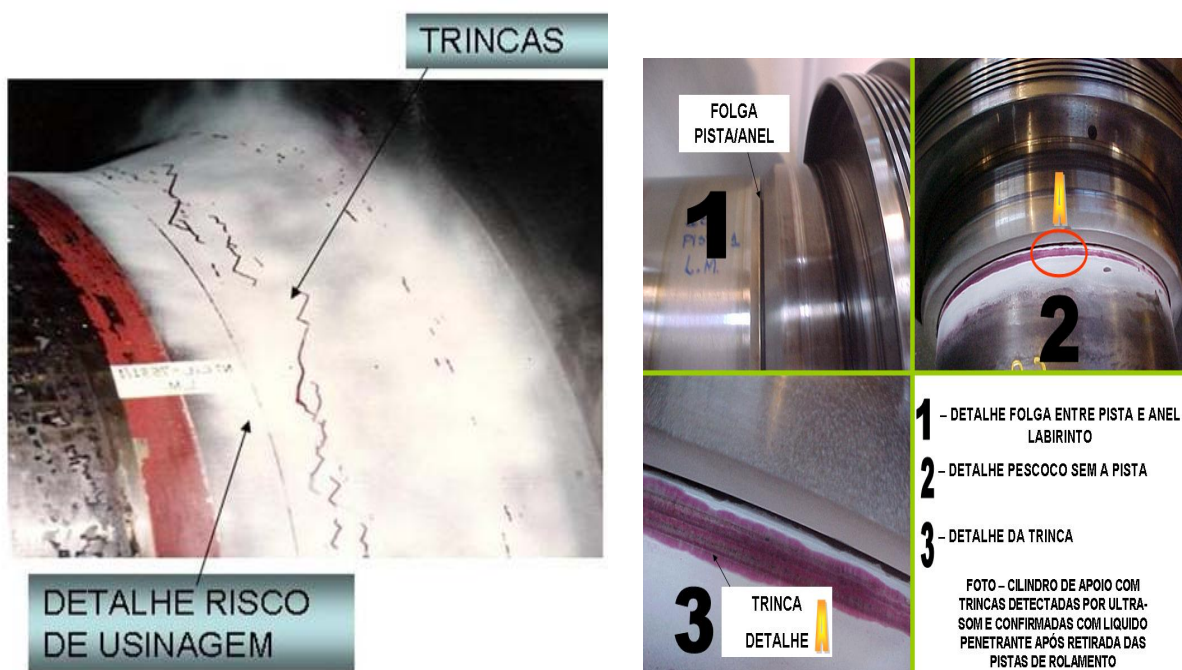


Figura 17 – Trincas detectadas por ultra-som abaixo do anel labirinto e pistas de rolamento

## DESENHO DO CHANFRO PARA Cilindros de Apoio e Trabalho

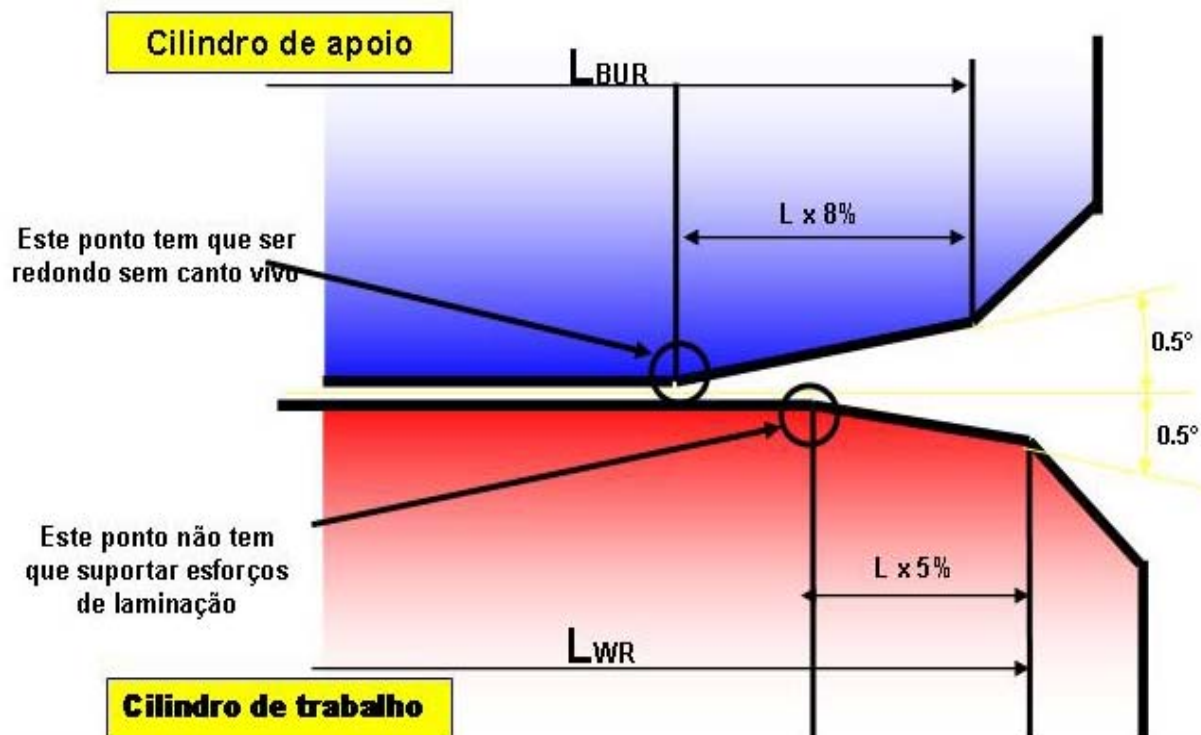


Figura 18 – Design do chanfro dos cilindros para alívio de tensão

### 3 CONCLUSÕES

- ▶ Processos de magnetização do cilindro para o ensaio de partícula magnética pode deixar resíduos de magnetismo; o que acelera a troca do cilindro pois, concentra partículas metálicas culminando na troca prematura do cilindro na cadeira de laminação.
- ▶ O ensaio por líquido penetrante é viável para grandes indicações e ou operadores experientes em visualizar defeitos, obviamente para o registro da indicação e elaboração de relatórios deve-se tornar o mesmo visível, para tanto, utiliza-se este recurso, porém muitas vezes a tensão de compressão na superfície do cilindro e muito elevada o que não favorece a penetração do líquido na descontinuidade.
- ▶ Ensaios com ataque ácido não se mostram eficientes em casos de ligas com alto teor de cromo, o que também é motivo de perda prematura de cilindros pois mudanças de estruturas não removidas atuam como concentradores de tensão que são fato gerador de trincas na região e culminam em spalling.
- ▶ O ensaio de “eddy current” atualmente muito utilizado tem se mostrado útil na detecção de mudanças de estruturas, porém, exige constante calibração e na detecção de trincas em alguns casos não se mostra eficiente.
- ▶ O ensaio por Ultra-som método pulso eco e uma excelente ferramenta altamente confiável e indispensável na rotina de OFICINA DE CILINDROS porém o conhecimento das técnicas e fenômenos de propagação de trincas por fadiga bem como ocorrências monitoradas desde o recebimento dos cilindros devem fazer

parte desta rotina, a informação e transparência com a operação, tanto no departamento de Retíficas quanto laminação deve ser de confiabilidade, vou além, montadores de mancais também devem se familiarizar com ocorrências durante a laminação assim as informações chegam mais ricas em detalhes no referente a posicionamento dos problemas ocorridos durante o processo.

É inadmissível que um cilindro após uma inspeção por Ultra-som volte ao laminador com algum tipo de indicação superficial, sem antes ser analisada e se for o caso removida. Não existe o termo pico ou piquinho o que existe são indicações de descontinuidades que com certeza irão se propagar por fadiga, pressão hidráulica e levarão ao colapso da ferramenta (CILINDRO DE LAMINAÇÃO).

O conhecimento deve atuar paralelamente à prática.

### **Agradecimentos**

A todos que de alguma maneira contribuíram para a conclusão deste trabalho, e acima de tudo a DEUS que me deu o maior de todos os DONS, "A VIDA".

### **BIBLIOGRAFIA**

- 1 METALS HANDBOOK, ASM, 9th edition p.408.
- 2 METALS HANDBOOK, 10<sup>th</sup> ed., vol 1, p 433.
- 3 ABNT – NBR 7881 – Ensaio Por Particulas Magneticas
- 4 ABNT – NBR 7552 – Ensaio Por Liquido Penetrante