



ASPECTOS IMPORTANTES PARA UMA EXECUÇÃO CONFIÁVEL DE ENSAIO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Gustavo Paes Marques¹, Clayton Oliveira²

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Sinopse.

Independentemente da técnica utilizada para a realização de um ensaio por partículas magnéticas, existe uma série de fatores que deverão ser levados em conta para que o ensaio forneça um resultado confiável. Este trabalho tem como objetivo explanar os principais métodos de controle de processo, discutindo cada um com base nas principais especificações contidas nos códigos ASME, ASTM e AMS.

Segmentos de mercado que realizam ensaios em volume produtivo possuem grandes dificuldades de se realizar um ensaio seguindo as diretrizes destas especificações e ao mesmo tempo atender ao volume de peças produzidas por uma produção.

O trabalho irá esclarecer a melhor forma de realizar tais controles em produção bem como as consequências técnicas e comerciais de cada um deles.

Controles como o de concentração de partículas magnéticas podem ser muito melhor avaliados se abrangermos itens de controle como a condição geral do banho e a periodicidade de troca do mesmo, no mesmo controle. Quando e como realiza-lo? Qual a vantagem de fazê-lo?

Neste trabalho serão discutidos parâmetros óbvios do dia-a-dia na realização de tais ensaios, mas que possuem grande interferência na obtenção de um resultado confiável ou não.

1. Introdução.

Para se obter um resultado confiável numa inspeção utilizando-se o ensaio por partículas magnéticas, principalmente em processos produtivos em peças seriadas utilizando-se máquinas estacionárias, alguns pontos importantes devem ser levados em conta e controlados.

O foco deste trabalho será a discussão em volta do tema das inspeções de partículas magnéticas quando aplicada ao controle de qualidade de peças seriadas. Envolvendo principalmente as grandes fundições e forjarias, os maiores fornecedores das montadoras automotivas, este tipo de ensaio possui sua complexidade agravada pelo volume de peças a ensaiar e ao mesmo tempo o nível de qualidade destes ensaios para se garantir a real qualidade das peças ensaiadas.

A primeira vista estes controles, quando aplicados ao ensaio de peças seriadas, para a inspeção por partículas magnéticas, podem parecer apenas empecilhos para uma boa produtividade e para o cumprimento exato dos prazos de entrega da produção. Porém, estes

1 Engenheiro Químico, Departamento Técnico – MAGNAFLUX®-ITW Chemical Products Ltda

2 Bacharel em Química, Gerente de Produto – MAGNAFLUX®-ITW Chemical Products Ltda

métodos de controle, se forem implementados corretamente através de planos de controle, serão apenas etapas que passarão despercebidas no processo, que sempre garantirão a boa qualidade da inspeção e conseqüentemente das peças inspecionadas.

Serão abordados controles tais como: contaminação e concentração dos banhos de partículas magnéticas, intensidade de campo magnético, testes com padrões recomendados por normas, intensidade e medição de luz negra, condições do equipamento utilizado, além da qualificação e treinamento de inspetores.



Figura 1: Foto ilustrativa de inspeção seriada por partículas magnéticas.

2. Qualificação e treinamento de inspetores.

Inspeção por partículas magnéticas é um método de ensaio não destrutivo que está baseada em teorias e estudos científicos. Este método utiliza princípios físicos para a aplicação de um campo magnético controlado que é conduzido pela faixa superficial do perímetro de uma peça ou região dela. Simultaneamente a este se aplica partículas magnéticas, pigmentadas para se obter dois tipos de ensaio: fluorescente ou visível, que são atraídas magneticamente à região sobre a descontinuidade, formando-se então uma indicação que será visualizada sob luz branca (comum) ou sob luz ultravioleta, quando o ensaio for fluorescente. Não é simplesmente, “*imantar a peça e jogar pó de ferro para ver as trincas*”, como muitos operadores de máquinas estacionárias acham e dizem. Existe por trás deste ensaio, muita técnica para sua operação além de exigir um aprofundado conhecimento de mecânica, física e de materiais para se poder elaborar um procedimento de inspeção ou mesmo de como esta peça ou região poderá ser inspecionada pela técnica das partículas magnéticas.

Para se ter um ensaio confiável recomenda-se que todos os inspetores responsáveis pelos ensaios tenham um mínimo de conhecimento teórico e prático do processo de inspeção por partículas magnéticas.

Tendo operadores treinados e qualificados, conforme norma NAS 410 [5], impediríamos problemas com maus procedimentos de inspeção, paradas de produção por falta de informação de como funciona o processo e principalmente teremos uma boa qualidade de ensaio.

É sempre bom lembrar que: “*Em controle de qualidade busca-se sempre a homogeneidade do ensaio. Ensaiar a primeira peça de um lote como a peça de número 1.000 do mesmo lote nas mesmas condições, utilizando-se dos mesmos parâmetros*”. Isto só pode ser alcançado através de um extremo cuidado em se realizar o ensaio sempre da mesma maneira, ou seja, seguir criteriosamente um procedimento de ensaio e, controlar os parâmetros envolvidos neste ensaio.

Isto só pode ser alcançado através da qualificação e certificação de pessoal, oferecido no Brasil pela ABENDE – *Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos e Inspeção*.

3. Condições e manutenção do equipamento de inspeção.

O bom uso de um equipamento de partículas magnéticas depende exclusivamente de suas condições, de um plano de controle, aferição e de sua correta utilização.

Já que os valores das correntes de magnetização dependem exclusivamente das peças que estão sendo inspecionadas, o desempenho da inspeção dependerá exclusivamente das condições do equipamento que transferem para a peça tais correntes.

Abaixo podemos observar alguns dos pontos mais importantes a serem controlados em um equipamento de magnetização:

3.1 Alimentação elétrica

A alimentação elétrica do equipamento deve estar de acordo com as recomendações de seu fabricante. Alimentações de tensão inadequadas podem causar danos ao equipamento. Variações significativas na tensão elétrica de alimentação produzirão também forças de magnetização insuficientes.

3.2 Sistema de agitação de banhos

As máquinas estacionárias possuem um sistema de agitação de banho. Esta agitação consiste em um sistema de recirculação que ao mesmo tempo em que garante a agitação constante do banho de partículas magnéticas contidas no tanque, promove a alimentação de suspensão de partículas magnéticas ao sistema de umectação da peça em inspeção, sendo que este sistema pode ser automático ou manual, através do uso de chuveiros ou de uma mangueira de umectação. Os problemas mais corriqueiros detectados na maioria dos sistemas são: entupimento das tubulações de transferência de banho, entupimento da tubulação de retorno ao banho, entupimento ou direcionamento errado dos chuveiros de umectação automático. Isto devido à contaminação abundante que ocorre durante o uso dos produtos, principalmente em locais como fundições e forjarias, que possuem alto teor de contaminantes no ar ou vindos da própria peça e que acabam entrando no sistema de agitação e provocando tais entupimentos.

Porém, o problema mais grave que costuma ocorrer nestes sistemas é o uso inadequado da bomba utilizada para promover esta agitação. A bomba de recirculação deve possuir potência controlada, as haletas de fluxo devem ser usinadas para se evitar o ataque às partículas magnéticas e conseqüentemente a perda de pigmento que pode ser transferido ao banho devido a este ataque. Com a perda de pigmento o banho de partículas perde rapidamente sua eficiência, necessitando assim de sua completa troca, como poderemos observar no item 4.1 deste trabalho. Enfim, sistemas de agitação precários, causam decantação das partículas no tanque e com isso prejudicam a durabilidade de um banho, aumentando o custo e comprometendo a qualidade da inspeção.

Um simples sistema de filtração no retorno do banho ao tanque, do tipo peneira ou grade, ajuda em muito a diminuir as contaminações decorrentes de corpos estranhos, o que pode aumentar a vida útil do banho de partículas, manter sua estabilidade e ajudar a garantir a eficiência do ensaio.



Figura 2: Foto ilustrativa de tanque de armazenamento de banho de partículas magnéticas com sistema de agitação e bombeamento constantes [6].

3.3 Contatos elétricos

Normalmente os contatos elétricos de transmissão de corrente utilizados na técnica do Contato Direto são protegidos por placas de contato de materiais altamente condutores de corrente elétrica. O mais comumente utilizado é o cobre, porém utiliza-se também o chumbo, que além de bom condutor de eletricidade sua maleabilidade ajuda a evitar danos mecânicos nas peças devido ao choque mecânico sofrido pela peça durante o fechamento dos contatos. Quando um contato elétrico está em más condições de uso ele pode prejudicar a passagem de corrente elétrica pela peça ou ainda, abrir arcos elétricos (faíscas), que podem provocar queima pontual na peça além de aumentar o risco de incêndio em sistemas que trabalham com banho a base de óleo.



Figura 3: Foto ilustrativa de cordoalha de cobre para conato elétrico[6].

3.4 Calibração do Equipamento de magnetização

A Calibração periódica do equipamento e dos instrumentos de medição do mesmo são fatores preponderantes para se obter uma inspeção confiável. Conforme indicado pela norma ASTM E 1444 – 05 [3], recomenda-se uma periodicidade de calibração de 6 meses. O importante neste controle é o procedimento utilizado para se realizar tal calibração, que deve contemplar a regulagem das placas de controle e medição de corrente hoje contidas num equipamento estacionário e que garantem repetibilidade ao valor de corrente utilizado nas diversas inspeções. Lembre-se sempre que uma inspeção confiável depende principalmente das correntes de magnetização aplicadas a peça e do banho de partículas magnéticas aplicadas à mesma. Os amperímetros, portanto devem mostrar sempre a real situação de cada inspeção. Equipamentos de magnetização sempre devem possuir amperímetros à vista do inspetor. É a confirmação para o inspetor de qual corrente foi utilizada para se realizar aquela inspeção. Existem equipamentos modernos com alarmes de falha de corrente, porém infelizmente a maioria existentes no mercado nacional que são equipamentos mais antigos não possuem tal aparato, sendo nestes casos, o amperímetro, o único instrumento desta confirmação. A calibração da máquina é importantíssima para garantir uma boa magnetização das peças inspecionadas e com isso uma confiabilidade no ensaio não destrutivo.

3.5 Calibração dos acessórios de medição e controle

Estas calibrações periódicas devem ser estendidas também aos outros equipamentos de medição que auxiliam no controle do processo da inspeção por partículas magnéticas, tais como: os indicadores de campo magnético residual, os medidores de intensidade de campo magnético e os medidores de luz branca e negra. No caso da utilização da técnica do Yoke também se recomenda uma checagem a cada 6 meses da calibração do equipamento, para levantamento de massa e para área útil, uma vez que com o passar do tempo e do constante uso os Yokes podem sofrer perda de eficiência causada pelo desgaste.

3.6 Sistemas de iluminação

No equipamento de iluminação, tanto de luz branca quanto de luz negra recomenda-se:

- Verificação do funcionamento das luminárias. Luminárias com mau funcionamento podem não proporcionar a iluminação mínima para se ter uma inspeção segura. Conforme a ASTM E-1444 –05 [3] a intensidade mínima de luminosidade ultravioleta para a realização de uma inspeção fluorescente à 380mm de distância entre o filtro e a peça é $1.000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ e, de luz branca para ensaios visíveis é 1.000 Lux.
- Principalmente nas luminárias estacionárias de luz ultravioleta a parte interna do filtro de UV retém muita poeira do ambiente, portanto, uma limpeza periódica destes filtros é necessária. Para tanto utiliza-se um pano seco ou umedecido com álcool isopropílico, acetona ou produtos para limpeza de vidro. Luminárias sujas costumam prejudicar a iluminação.
- Caso seja efetuada a limpeza dos filtros e após medição a intensidade luminosa continua com valores abaixo do exigido pela norma ASTM E-1444-05 [3], é necessária a troca da lâmpada da luminária. Valores de baixa intensidade são comumente observados quando a lâmpada já se encontra com grande desgaste devido ao uso.



Figura 4: Luminária estacionária 400 W (4a) e luminária portátil 100 W (4b).

Uma manutenção preventiva e cuidados mínimos com os equipamentos garantem resultados confiáveis aos ensaios realizados. Além de diminuir o cansaço da vista do inspetor.

4. Controle de qualidade do processo.

Só podemos considerar um ensaio confiável quando todas as possibilidades de erro tenham sido excluídas. Para tanto é extremamente importante realizar um controle de processo que garanta o acompanhamento periódico de todos os parâmetros que estão envolvidos no ensaio. Devemos alertar também que o ensaio por partículas magnéticas é considerado um ensaio subjetivo, pois depende do ser humano a interpretação final do resultado da inspeção.

Visando qualidade e confiabilidade no processo de inspeção por partículas magnéticas, existem alguns parâmetros a serem verificados e acompanhados periodicamente:

4.1. Contaminação do banho.

A contaminação do banho de partículas magnéticas causa uma diminuição significativa em sua sensibilidade. Além da contaminação deve ser verificada a diminuição ou alteração na pigmentação colorida no caso de partículas magnéticas visíveis e, principalmente, perda da fluorescência no caso de partículas magnéticas fluorescentes.

Diminuição de coloração ou fluorescência das partículas pode ser causada por dois fatores:

- A contaminação está ocorrendo devido à algum produto proveniente do processo de fabricação das peças inspecionadas e que estão atacando a pigmentação das partículas.
- Um aquecimento do banho pode causar degradação do pigmento em partículas fluorescente. Isto ocorre ou quando o sistema de agitação dos banhos se encontra com problema como, por exemplo, o super dimensionamento da bomba de recirculação, causando um super aquecimento do banho. Há, também, casos de banhos com problemas de degradação de fluorescência das partículas causados pelas peças que chegam ainda quentes do processo de tratamento térmico e aquecem o banho. Então se recomenda que se espere estas peças esfriarem antes do ensaio.

Na realidade um simples processo de pré-limpeza destas peças já garantiriam uma vida útil maior do banho e uma maior estabilidade do processo durante todo o período de inspeção.

Por este motivo é de suma importância que também se realize uma inspeção do banho a cada turno de trabalho. Esta verificação deve ser feita sob luz branca para ensaios visíveis e sob luz ultravioleta para banhos fluorescentes. Uma simples comparação com um outro banho novo pode identificar ao inspetor a necessidade da troca do banho.

Os banhos de partícula magnética fluorescente se tornam azulados devido à contaminação por produtos químicos. Este azul inibe a cor verde-amarelado (λ entre 530 a 580 nm) da partícula excitada sob luz negra tornando-a imprópria para a inspeção. Normalmente, nestes casos, o inspetor, mesmo sem realizar este teste, acha que o banho está “fraco” e corrige a concentração da partícula magnética, mesmo esta estando dentro da faixa especificada pelo fabricante e, então, super concentra o banho causando desperdício de produto em aumentando o risco de se passar peças trincadas, pois a superconcentração de partículas magnéticas num banho dificulta a formação das indicações sobre uma descontinuidade.



Figura 5:Foto comparativa de banhos com partícula magnética fluorescente onde ocorreu perda da fluorescência.

A sensibilidade de detecção do banho também pode ser prejudicada pela contaminação proveniente de resíduos metálicos encontrados na superfície das peças e são arrastadas para o banho, causando um falso valor da concentração de partículas no método de decantação.

Segundo a norma ASTM E 1444-05 [3] um indicativo de contaminação metálica limite pode ser obtido através do teste de decantação. Se pelo menos 30% do volume de decantação for de materiais que não sejam partículas magnéticas ou se for observada sujeira excessiva na suspensão, o banho deve ser trocado. Recomenda-se uma verificação de contaminação do banho uma vez por turno [3]. Esta observação é feita comparando-se as cores da partícula sob sua devida luz e a cor da contaminação.

Nas tabelas seguintes estão alguns problemas encontrados em processos de inspeção por partículas magnéticas via úmida (em água e em óleo), com possíveis causas e recomendações para solucionar o problema. Referência [1].

<i>Sintoma</i>	<i>Provável Causa</i>	<i>Recomendação</i>
Superfície da peça não está umectando completamente.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Superfície contaminada com óleo. 2. Pouco distensor no banho. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pré limpeza correta. 2. Adicionar mais distensor.
Aglomerção de partículas na superfície da peça e partículas aglomeradas no tubo de decantação.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Contaminação do banho a água com mais de 0,5 % de óleo. 2. Permanência excessiva do banho em temperatura elevada (acima de 43 °C). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se for uma pequena contaminação adicione emulsificador lipofílico. Grande contaminação trocar o banho. 2. Trocar o banho.
Aglomerção das partículas com substância pastosa dentro e nas laterais do tanque.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Resíduo de desengraxante alcalino (NaOH ou KOH). 2. Óleo de corte ou óleo fluido da máquina. 3. Óleo protetivo. 	Limpeza e enxágüe das peças antes do processo de inspeção. Se for uma excessiva contaminação trocar o banho.
Excessivo “background” na peça.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Degradação e perda de pigmento. 2. Excessiva concentração de partículas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Troca do banho. 2. Adicionar água.
Duas fases na camada líquida ou separação de sólidos na camada sólida do tubo de decantação.	Contaminação de óleo no banho a água.	Se for uma pequena contaminação adicione emulsificador lipofílico. Grande contaminação trocar o banho.
Camada de sólido escuro no tubo de decantação.	Sólidos estranhos no banho (cavaco ou ferrugem).	Quantidade de sólidos estranhos maior que 30 % da decantação, trocar o banho.
Espuma excessiva no banho ou na inspeção da peça.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Insuficiência de inibidor de corrosão. 2. Nível baixo do banho, causando entrada de ar na unidade. 3. Agitação do banho com pressão alta de injeção de ar. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Adicionar inibidor de espuma. 2. Aumentar o nível do banho. 3. Mudar o sistema de agitação por ar.

Tabela 1: Problemas, causas e recomendações para manutenção de suspensões com partículas magnéticas utilizando água como veículo.

<i>Sintoma</i>	<i>Provável Causa</i>	<i>Recomendação</i>
Fluorescência azulada na parte líquida no tubo de decantação.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fluorescência vinda do veículo oleoso. 2. Algum óleo utilizado em processos da peça contém fluorescência. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Trocar o óleo. 2. Limpar as peças antes da inspeção.
Fluorescência verde escura na parte líquida no tubo de decantação.	Degradação das partículas (perda de pigmento).	Trocar o banho.
Fluorescência verde clara na parte líquida no tubo de decantação.	Partículas ainda em suspensão no tubo.	Esperar 60 minutos para leitura.
Superfície da peça não está umectando completamente.	Superfície contaminada com água.	Pré limpeza e <u>secagem</u> correta.
Aglomerado de partículas na superfície da peça e partículas aglomeradas no tubo de decantação.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Contaminação do banho a óleo com mais de 0,5 % de água. 2. Permanência excessiva do banho em temperatura elevada (acima de 43 °C). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se for uma pequena contaminação adicione emulsificador lipofílico. Grande contaminação trocar o banho. 2. Trocar o banho.
Aglomerado das partículas com substância pastosa dentro e nas laterais do tanque.	Contaminação: <ol style="list-style-type: none"> 1. Resíduo de desengraxante alcalino (NaOH ou KOH). 2. Óleo de corte ou óleo fluido da máquina. 3. Óleo protetivo. 	Limpeza e enxágüe das peças antes do processo de inspeção. Se for uma excessiva contaminação trocar o banho.
Excessivo “background” na peça.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Degradação e perda de pigmento. 2. Concentração excessiva de partículas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Troca do banho. 2. Adicionar óleo.
Dois fases na camada líquida ou separação de sólidos na camada sólida do tubo de decantação.	Contaminação de água no banho a óleo.	Se for uma pequena contaminação adicione emulsificador lipofílico. Grande contaminação trocar o banho.
Camada de sólido escuro no tubo de decantação.	Sólidos estranhos no banho (cavaco ou ferrugem).	Quantidade de sólidos estranhos maior que 30 % da decantação, trocar o banho.

Tabela 2: Problemas, causas e recomendações para manutenção de suspensões com partículas magnéticas utilizando óleo como veículo.

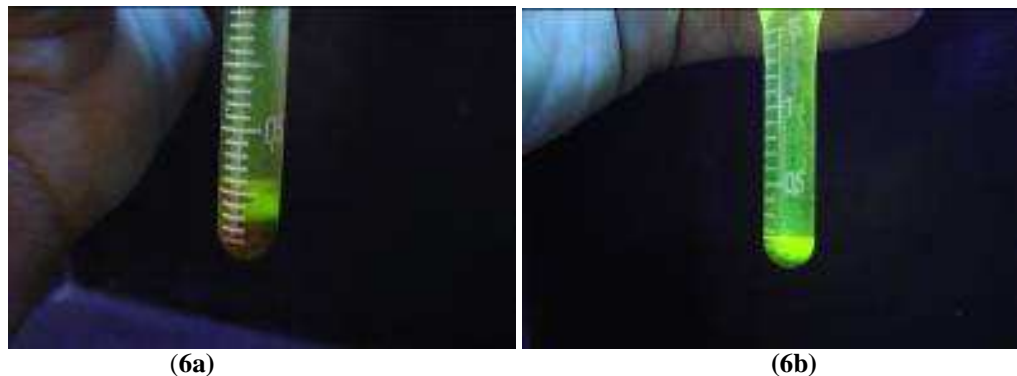


Figura 6: Fotos ilustrativas de análise de contaminação em banho fluorescente a óleo. Foto (6a) ilustra banho contaminado e foto (6b) banho sem contaminação.

4.2. Controle de concentração do banho.

Controle de concentração de partículas magnéticas é outra forma de garantir uma boa inspeção por partículas magnéticas.

Em baixas concentrações de partículas o banho não tem uma eficiência confiável para a formação de indicações e prejudica a detecção de descontinuidades. Em concentrações altas pode mascarar descontinuidades devido ao grande número de partículas que podem se alojar sobre uma indicação formada.

O controle desta concentração pelo tubo de decantação em forma de pêra é o recomendado por todas as normas e é muito eficiente nesta função.

Pela norma ASTM E 1444 – 05 [3] recomenda-se um tubo de 100 mL, com haste de 1 mL e divisões de 0,05 mL para partículas magnéticas fluorescente e com haste de 1,5 mL e divisões de 0,10 mL para partículas magnéticas visíveis. Esta diferença de escala nos tubos de decantação é para melhor visualizar o resultado de volume de decantação. Partículas magnéticas fluorescentes e visíveis são de materiais e tamanhos diferentes.

O uso de outro tubo de decantação pode ser indicado pelo fabricante das partículas magnéticas de acordo com o item 8.5.5 da norma ASTM E 709 – 01 [4]. Isto ocorre pelo fato de algumas partículas serem de materiais, tamanhos e densidades diferentes. Então, procura-se indicar um tubo para melhor visualização do volume de decantação na concentração correta de partículas.

Recomenda-se uma verificação de concentração do banho a cada 8 horas ou a cada troca de turno.



Figura 6: Verificação de concentração pelo tubo de decantação. Fluorescente (7a) e visível (7b).

4.3. Iluminação para inspeção.

Tanto para inspeção com partículas visíveis quanto para fluorescentes há recomendações de segurança em normas para assegurar uma confiabilidade no ensaio e também para melhor visualização das descontinuidades pelos inspetores. A ASTM E 1444 – 05 [3] estabelece um limite mínimo de 1000 Lux de iluminação de luz branca quando se estiver fazendo uma inspeção com partículas visíveis.

Para inspeção por partículas fluorescentes o limite de luz branca é de 20 Lux . Ou seja, o local da interpretação pelo inspetor, seja ele na própria máquina ou em uma cabine separada, deve estar praticamente isento de luz branca. As cortinas das cabines devem permanecer fechadas até o final da interpretação dos resultados, além de seu comprimento dever ir até o chão. Já para a realização do ensaio fluorescente o mínimo 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ de intensidade de luz negra na superfície da peças a ser ensaiada a uma distância de 380mm do filtro deve ser respeitada. No item 3.6 falamos sobre a manutenção dos sistemas de iluminação.

4.3.1. Iluminação Ultra-Violeta [2].

A intenção da utilização da luz ultra violeta em END é puramente de aumentar a sensibilidade na visualização das descontinuidades, tanto nos líquidos penetrantes quanto nas partículas magnéticas fluorescentes.

O que poucas pessoas sabem é que existe mais de uma faixa de comprimento de onda ultravioleta, e que utilizamos somente uma destas faixas no END. Não é todo espectro de luz ultravioleta que excita a fluorescência das partículas e líquidos penetrantes. E o desconhecimento deste fato pode levar a medições errôneas de intensidade de luz negra.

Espectro	ULTRAVIOLETA			VISÍVEL					
Cor	UVC	UVB	UVA	Violeta	Azul	Verde	Amarelo	Laranja	Vermelho
λ (nm)	180-290	290-315	315-400	400-440	440-500	500-565	565-590	590-625	625-740

Tabela 3: Faixas de comprimentos de onda de espectros visíveis e ultravioleta.

Tendo um conhecimento básico de física, mais especificamente de óptica, sabemos que a luz branca emite todos os comprimentos de onda. E o motivo de enxergarmos algum objeto vermelho, por exemplo, é devido que os átomos que formam o objeto ou seu pigmento ao serem excitados com a energia vinda da luz, emitem a coloração vermelha. Ou seja, ao vermos algum objeto vermelho, na realidade este objeto refletiu a cor vermelha e absorveu todas as outras; isto no caso do espectro perceptível aos olhos humanos. Pois sabemos que há uma reflexão de outros comprimentos de onda como no caso de luz infravermelha que não é perceptível ao olho humano, mas não nos interessa neste caso.

Estudos mostram que o olho humano tem percepções diferentes às cores. E foi constatado que duas cores são melhores percebidas aos nossos olhos. Uma delas é a cor vermelha e a outra é exatamente a verde amarelada (**520 a 580 nm**) que observamos nos ensaios por partículas magnéticas e líquidos penetrantes fluorescentes. Aliás, o verde amarelado é mais perceptível ao olho humano que o vermelho.

É por esta razão que os líquidos penetrantes e partículas magnéticas fluorescentes tem a coloração verde amarelada, para dar uma melhor percepção e melhorar a visualização das menores descontinuidades.

E como funciona a excitação da coloração fluorescente das partículas e líquidos penetrantes? Para responde esta pergunta temos que primeiro falar sobre a luz ultravioleta.

A luz ultravioleta é um espectro de luz logo abaixo da luz visível. Com comprimento de onda de valor aproximado entre 180 a 400 nm. E dentro deste intervalo podemos dividir a luz ultravioleta em três: Luz ultra violeta C (UVC) de comprimento entre 180-290 nm que é muito prejudicial para pele, luz ultra violeta B (UVB) de comprimento entre 290-315 nm e a luz ultravioleta A (UVA) de comprimento entre 315-400 nm. E é a UVA que nos interessa mais.

A UVA, também conhecida por Luz Negra, é o espectro ultravioleta mais próximo da luz visível. E é ele que vai excitar o pigmento que da a fluorescência desejada e melhor perceptível aos nossos olhos.

Se observarmos uma partícula magnética fluorescente na luz branca comum percebemos que ela não tem uma coloração verde fluorescente. O que acontece é o seguinte: O corante ou pigmento contido nas partículas e líquidos fluorescentes é exatamente fabricado para produzir a coloração que melhor é percebido pelo olho humano, o verde amarelado (520 a 580 nm). Estes corantes ou pigmentos para refletirem esta coloração precisam ser excitados por um comprimento de onda certo. O comprimento de onda de 365 nm. Ou seja, excitamos o pigmento com comprimento de onda de 365 nm e este por sua vez reflete o comprimento de onda de 520 a 580 nm, que é exatamente o comprimento da coloração verde amarelado fluorescente que observamos nos ensaios fluorescentes. Porém, como esta luz está normalmente diluída dentro de todo o espectro luminoso, sua intensidade é muito baixa, ou seja, sob luz comum é impossível visualizar o reflexo fluorescente destas partículas já que o marrom ou o verde comum são muito mais intensos e perceptíveis ao nosso olho. A idéia então, é isolar somente a faixa do ultravioleta através de uma fonte geradora e aumentar sua intensidade até um mínimo que se torne visível, e aí sim com grande destaque, as cores fluorescentes que nos interessam. Damos o nome a estas fontes geradoras de “*Luminárias de Luz Ultravioleta*”.

A intenção de explicar tudo isto sobre como funciona a fluorescência das partículas é para entendermos o porque é exigido por norma que as luminárias fluorescentes tenham uma intensidade mínima de luz ultravioleta aos 365 nm de comprimento de onda. E também explicar a importância da utilização de equipamentos corretos de iluminação e medição de luz negra.

Pela figura abaixo podemos visualizar como funciona uma luminária de luz negra com filtro ultravioleta e como ela é captada pelos medidores convencionais:

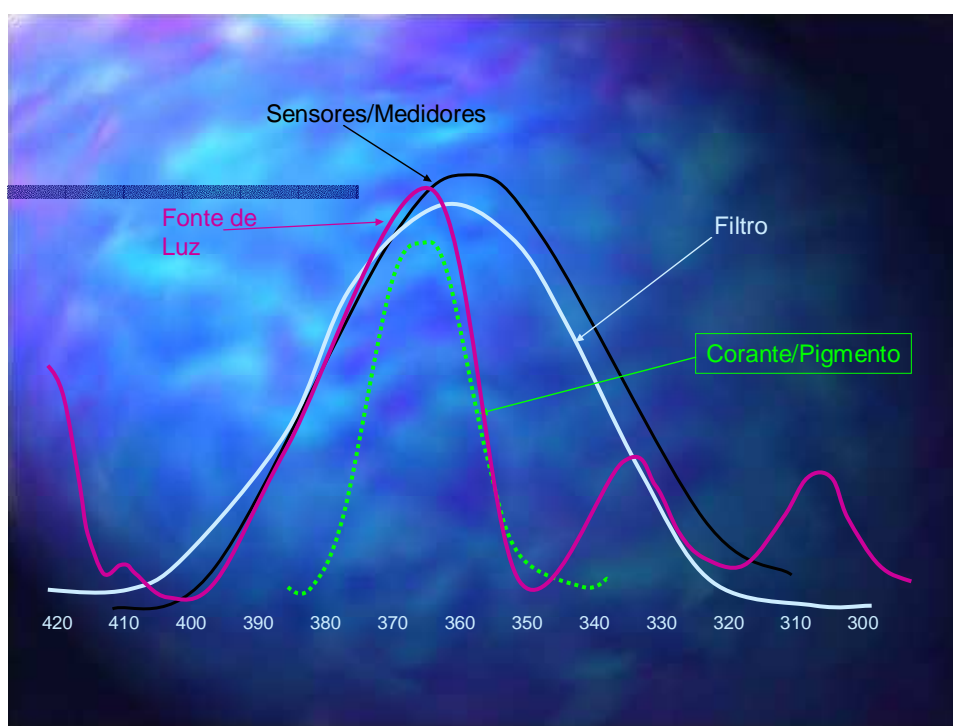


Figura 8: Ilustração de funcionamento de luminária contendo filtro de luz ultra violeta. Comprimento de onda em (nm).

Ocorre exatamente o seguinte: A fonte de luz comum emite vários picos de comprimento de onda. A função do filtro é deixar passar uma faixa de comprimento mais restrita, que é o comprimento da luz ultravioleta que nos interessa. O pigmento está absorvendo um comprimento de onda com pico em aproximadamente 365 nm.

Outro ponto importante a ser destacado na figura 7 é que o medidor exemplificado está pegando uma faixa grande de comprimento de onda ultravioleta. Este medidor não está sendo

adequado para medir a intensidade de luz negra desta luminária. Isto porque, como já foi explicado anteriormente, o comprimento de onda que nos interessa é somente o de 365 nm, somente este comprimento de onda irá excitar o pigmento da partícula. Não adianta nada termos outro comprimento de onda ultravioleta diferente de 365 nm. O problema desse medidor é que ao se fazer à medida de intensidade de luz negra ele não dará somente o valor do comprimento 365 nm, e sim a soma de vários outros comprimentos de onda UV contidos no UVa. Dando um valor “falso” de intensidade de luz, para nosso caso em específico.

Por exemplo, ao se medir a intensidade de luz de uma certa luminária obtemos um valor de $1300 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, sabemos que o valor mínimo por norma [3] para termos um ensaio confiável é de $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, mas este valor mínimo de $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ é para intensidade de luz ultra violeta no comprimento de onda de 365 nm somente. Então não podemos garantir que esta luminária está nos dando um valor confiável de luz negra para realizarmos nosso ensaio.

Por isso temos que tomar muito cuidado ao adquirir um equipamento de medição de intensidade de luz negra. Existem diversos medidores de luz negra no mercado que custam pouco, mas não são específicos para END. São medidores de UVa e não de uma faixa de interesse como acontece nos END. Pois medidores de intensidade de luz negra para END tem que estar regulados e medir somente o comprimento de onda de 365 nm, para aí sim podermos analisar se a luminária está dando a nossa iluminação mínima de luz UV requerida pela norma ASTM E 1444 – 05 [3].

A importância do controle da intensidade de luz negra é tão grande que se recomenda pela ASTM E-1444-05[3] fazer uma medição diária.

É importante salientar que o UVa não causa danos ao ser humano, porém em contato direto com os olhos por períodos muito longos e rotineiros pode acelerar o aparecimento de cataratas. Para evitar tal prejuízo, posicione sua luminária de modo de sua luz não incida diretamente no olho do inspetor e promova a utilização de óculos de segurança que filtre luz UVa.

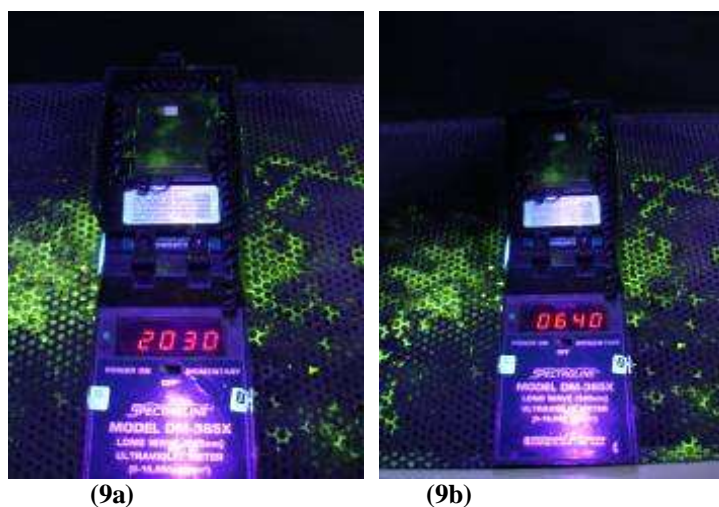


Figura 9: Fotos ilustrativas de medidores de luz negra medindo intensidade de comprimento de onda específico de 365 nm. (8a) aprovado e (8b) reprovado.

4.4. Campo magnético.

O processo de END por partículas magnéticas depende principalmente do campo magnético aplicado na peça a ser inspecionada. Sabemos que temos que ter um campo magnético mínimo para que tenhamos força suficiente para movimentar as partículas magnéticas até o campo de fuga que se formou na descontinuidade. E que não podemos ter um campo magnético muito alto, causando problemas na detecção das descontinuidades, campos magnéticos muito altos mascaram algumas descontinuidades e causam distúrbio magnético.

Então, dependendo da técnica utilizada e da peça a ser inspecionada, temos campos magnéticos adequados para uma melhor e mais segura inspeção por partículas magnéticas.

Formas de cálculos de corrente de magnetização e valores adequados de campo magnético para todas as técnicas de magnetização existentes neste END estão presentes na norma ASTM E-709-01[4]. Mas a melhor forma de adequação de campo magnético para cada processo, sistema e peça a ser inspecionada é através da medição da intensidade do campo magnético em conjunto com utilização de padrões com descontinuidades artificiais ou mesmo peças com descontinuidades reais idênticas as inspecionadas. Ou seja, nada melhor para achar o campo magnético adequado do que ver se ele está ou não identificando as descontinuidades já conhecidas.

Existem no mercado diversos medidores de campo magnético que trabalham, com efeito, Hall que são muito eficientes para este trabalho.

É bom salientar que uma intensidade adequada de campo magnético poderá estar por volta de 30 a 60 Gauss, ou seja, de 30 a 60 linhas de campo magnético por centímetro quadrado de secção da peça. Sabemos que a regulagem das correntes elétrica num equipamento se estiver gerando um campo tal qual mencionado acima, a máquina estará apta a detectar descontinuidades em qualquer localidade daquela peça. Podemos observar também, que em muitos casos será extremamente difícil se conseguir regular as correntes elétricas utilizadas para se obter um campo magnético exatamente nesta faixa de interesse. Isto poderá variar muito de acordo com a procedência da própria peça, se é forjada, laminada ou fundida. A geometria da peça, como no caso dos virabrequins pode também causar desvios de sentido no campo magnético conduzido e assim a intensidade magnética nestes casos irá variar tremendamente, saindo-se da faixa de interesse de 30 a 60 Gauss. Nestes casos o uso de padrões artificialmente trincados é indispensável para a boa determinação das correntes elétricas que deverão ser utilizadas para a inspeção daquela peça em particular, como poderemos ver a seguir.

Recomenda uma medição periódica do campo magnético nestas peças para se acompanhar a estabilidade do processo de magnetização para cada tipo de peça. Lembre-se sempre que num ensaio por partículas magnéticas não há como saber que uma peça aprovada possuía uma descontinuidade que a reprovava. O que pode evitar isto são os controles no processo de inspeção que estamos explicando por todo este trabalho.



(10a)



(10b)

Figura 10: (10a) Medidor de Campo Magnético (Efeito Hall) e (10b) Medidor de Magnetismo Residual.

4.5. Controle de eficiência do processo.

De todos os controles de qualidade do sistema de inspeção por partículas magnéticas o controle de eficiência do processo é o mais importante, onde se podem verificar todos os parâmetros citados anteriormente. Fazendo-se o controle de eficiência verificamos se o campo magnético está adequado, se minha iluminação de luz branca ou fluorescente estão boas e se meu banho de partículas magnéticas está em condições de detectabilidade boa.

Há dois modos para se fazer este controle de eficiência: um deles é inspecionando uma peça com descontinuidades já conhecidas, uma peça retirada do meu próprio processo. A outra é

utilizar padrões com descontinuidades artificiais como o padrão retangular e o padrão QQI modelos KSC 230 ou KSC 430. O padrão QQI é uma fina chapa de um material altamente magnetizável e com baixíssima retenção magnética que possui em sua parte central uma trinca em formato circular e no interior deste círculo uma trinca em formato de cruz. As profundidades destas trincas dependem do modelo do padrão, pois existem vários modelos de QQI. Este padrão também é muito utilizado para se analisar a eficiência de uma magnetização multi-direcional, ou seja campos de sentidos diferentes aplicados simultaneamente, pois o QQI possui trincas que cobrem 360° em uma peça.

O uso de uma peça de processo com trincas conhecidas é extremamente eficiente e garante uma análise real das condições de detectabilidade do sistema todo de inspeção. Você tem a oportunidade de realizar um controle de eficiência nas reais condições de seu dia a dia, utilizando a mesma peça comumente inspecionada, com defeitos normalmente gerados em seu processo e em locais críticos na peça. Ou seja, é a situação de teste ideal. Porém em processos com grande número de peças diferentes inspecionadas seria necessário ter uma peça padrão de cada tipo e aí o controle disto se torna impossível, na maioria dos casos. O importante é você saber que cada peça tem um modo de ser inspecionada e de ser magnetizada. O campo magnético sempre vai variar em função da liga do material, sua massa e sua geometria. Portanto você deve sempre fazer este controle para cada tipo de peça, pois há uma grande chance de cada tipo de peça possuir uma regulagem de corrente elétrica para a sua magnetização.

Pelo controle utilizando o padrão QQI, posicionamos o padrão em um local sensível de uma peça a ser inspecionada e fazemos o ensaio normalmente como se estivéssemos inspecionando uma peça normalmente. Ao final podemos verificar se o processo de inspeção ao todo está indicando as descontinuidades. Através deste teste poderemos ajustar a intensidade do campo magnético longitudinal ou transversal, tanto para mais quanto para menos, por exemplo:

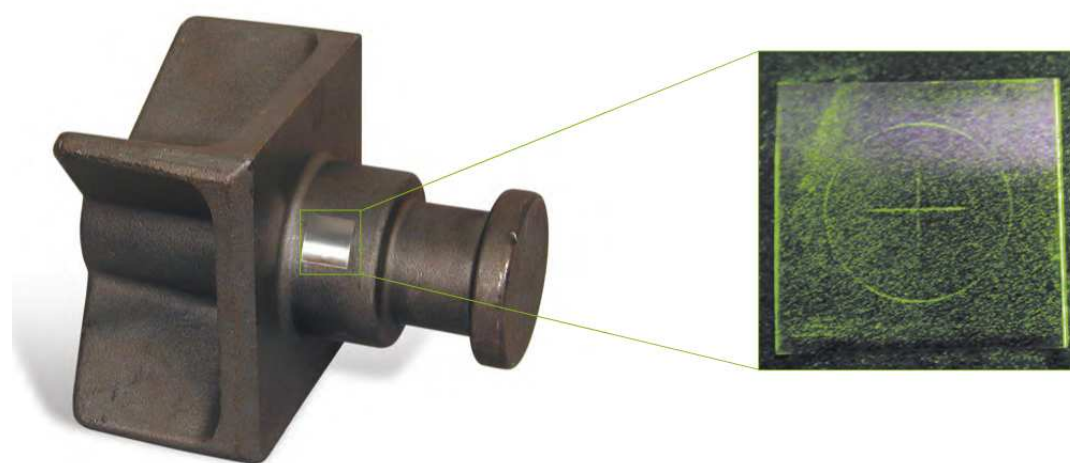
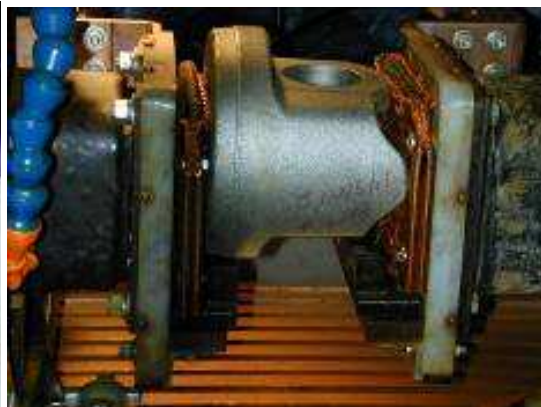


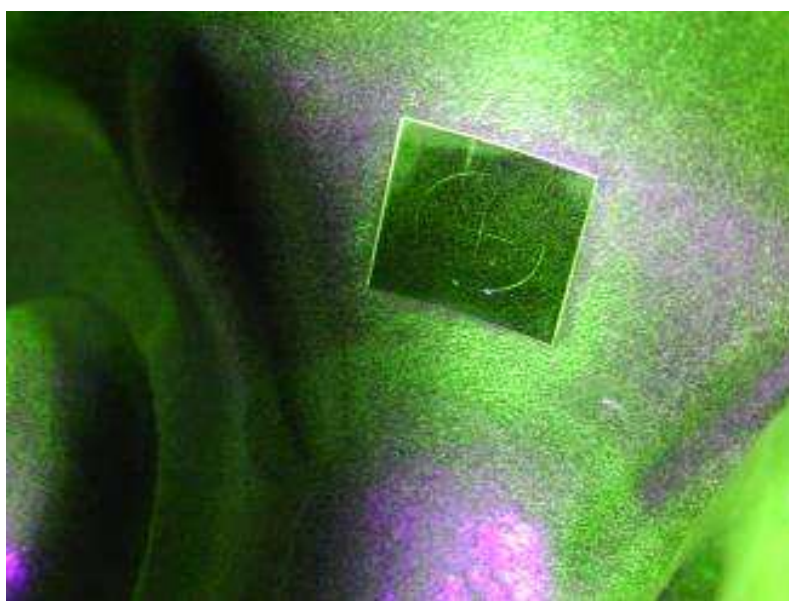
Figura 11: Ilustração de padrão QQI em peça a ser inspecionada.



(12a)



(12b)



(12C)

Figuras 12: Fotos ilustrativas de detecção de descontinuidades longitudinais e transversais utilizando- se o padrão QCI. (12a) colocação do QCI na peça, (12b) colocação da peça na máquina e (12C) verificação das descontinuidades no padrão.

Neste teste posso concluir que está tudo certo com meu processo, pois estou detectando descontinuidades transversais e longitudinais na peça em questão. Descontinuidades diagonais também estão sendo detectadas portanto, as correntes elétricas que estou utilizando para magnetizar esta peça estão adequadas e a sensibilidade do banho de partículas magnéticas está adequada ao meu propósito.

Mas caso isto venha a não acontecer, teremos que ajustar tais parâmetros até que encontremos a melhor forma de inspecionar a peça em questão. Isto chama-se preparar um procedimento de inspeção para uma peça ou mais em questão.

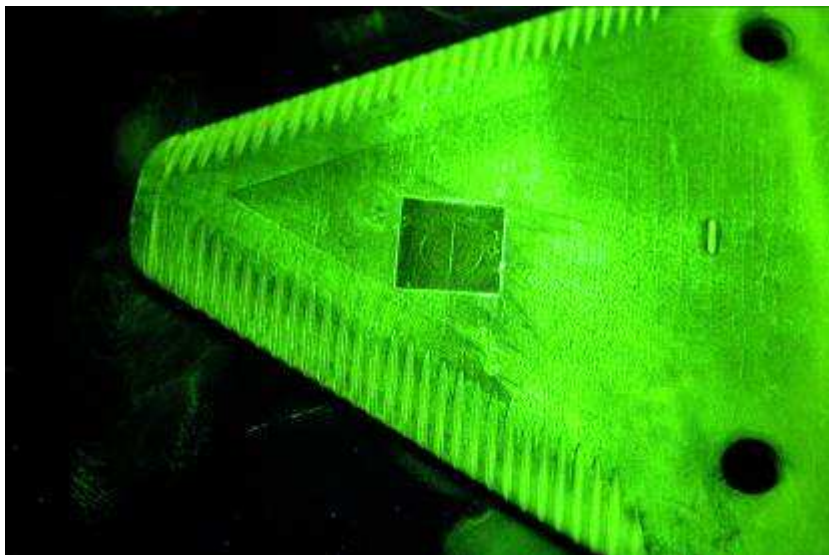


Figura 13: Identificação somente de descontinuidade transversal.

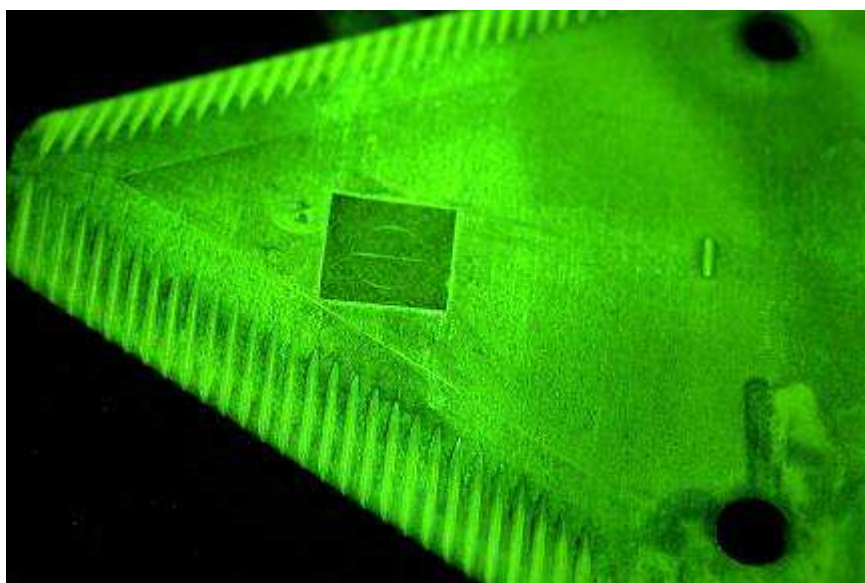


Figura 14: Identificação somente de descontinuidade longitudinal.

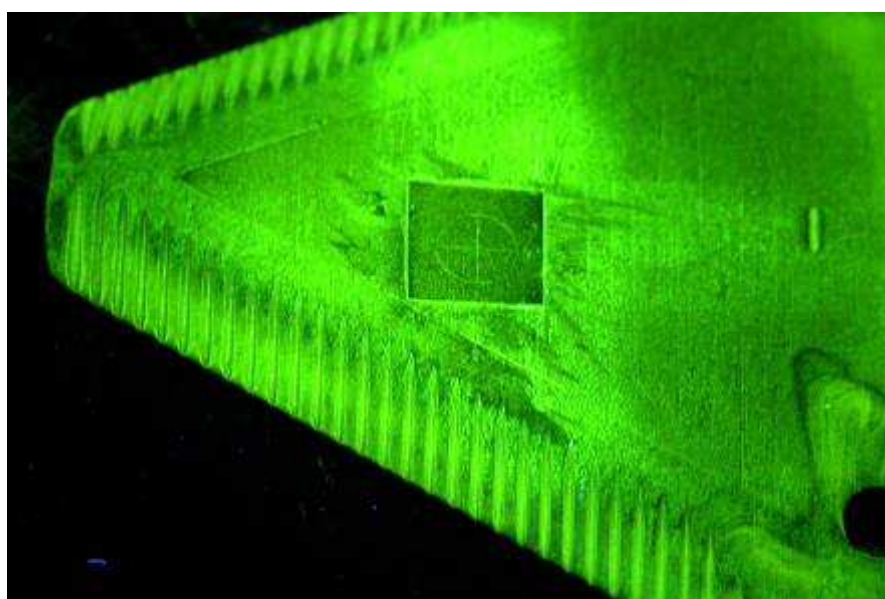


Figura 15: Identificação de descontinuidade transversal e longitudinal após ajuste de campo.

Pela figura 13 observa-se a detecção somente da descontinuidade transversal, então foi preciso ajustar o campo longitudinal. Na figura 14 detectou-se somente a descontinuidade longitudinal e foi preciso ajustar o campo transversal. Já na figura 15, após os ajustes feitos, detectou-se as descontinuidades transversal e longitudinal.

4.6 Intervalos de Verificação.

A norma ASTM E 1444-05 [3] determina intervalos para verificação de parâmetros importantes que garantem a confiabilidade do ensaio por partículas magnéticas. A tabela apresentada a seguir tem como fonte a tabela 1 da norma [3].

Item	Tempo Máximo para Verificação
<i>Iluminação</i>	
Intensidade de Luz Visível	Semanalmente
Intensidade de Luz Ambiente	Semanalmente
Intensidade de Luz Negra	Diariamente
Eficiência do Processo	Diariamente
Concentração do Banho de Partículas	8 horas ou a cada troca de turno
Contaminação do Banho de Partículas	1 Semana
“Water Break Test”	Diariamente
<i>Verificação de Calibração de Equipamentos</i>	
Exatidão do Amperímetro	6 Meses
Temporizador	6 Meses
“Quick Break”	6 Meses
Levantamento de Massa do Yoke	6 Meses
Medidores de Luz branca e Luz Negra	6 Meses
Medidor de Campo Magnético	6 Meses

Tabela 4: Tabela baseada na tabela 1 da norma ASTM E 1444-05 [3].

Se estes parâmetros forem verificados seguindo-se estas recomendações a confiabilidade do ensaio por partículas magnéticas estará garantida em pelo menos 70 %.

Uma recomendação para se ter um controle destes parâmetros é uma planilha de controle de processo. Nesta planilha tem que conter todos estes parâmetros citados com as respectivas datas de verificação. Assim pode-se ter um controle de qualidade e uma rastreabilidade no processo.

5. Conclusões.

Os parâmetros apresentados em todo o trabalho técnico são importantíssimos para se obter um ensaio por partículas magnéticas via úmida confiável, principalmente em processos de produção seriada.

Pode-se concluir que todos pontos levantados podem ser implementados sem problema e atraso algum em uma linha de produção. Implementando estes controles no processo de produção estaremos garantindo uma seguridade, confiabilidade e qualidade na inspeção por partículas magnéticas. Evitando assim problemas futuros com lotes reprovados por terem peças com trincas que não foram detectadas na etapa de inspeção.

6. Referências Bibliográficas.

- [1] Lindgren, Arthur R.; *Magnetic Particle Inspection Manual for the Inspector*; Illinois, L&L Consultants, Inc., 1929; Magnaflux – A Division of Illinois Tool Works Inc.
- [2] Betz, Carl E.; *Principles of Penetrants*; Chicago, Illinois; Magnaflux Corporation, 1986.
- [3] ASTM E 1444 – 05, ASTM International; *Standard Practice for Magnetic Particle Testing*; United States; September 2005.
- [4] ASTM E 709 – 01, ASTM International; *Standard Guide for Magnetic Particle Examination*; United States; September 2001.
- [5] NAS 410; *Certification and Qualification of Nondestructive Test Personnel*; United States.
- [6] A division of Illinois Tool Works Inc., Magnaflux; *The Magnaflux Global Advantage*; United States; 2007.