



1. OBJETIVO

- 1.1 A utilização deste documento destina-se ao treinamento de candidatos à certificação no método de END e técnica descrita. A aplicação deste procedimento deve ser feita sob a supervisão do N3 responsável.
- 1.2 Este documento não deve ser considerado como referência para trabalho de inspeção em campo.
- 1.3 Este procedimento estabelece as condições necessárias para a execução do ensaio por meio de partículas magnéticas pela técnica dos eletrodos de contato em materiais ferromagnéticos.

2. NORMAS DE REFERÊNCIA

NM 342 - Ensaios não destrutivos - Partículas Magnéticas – Detecção de descontinuidades
ASME Seção V artigo 7 - Nondestructive Examination
ASME Seção VIII – divisão 1 – Apêndice 6 – Boiler and Pressure Vessel Code
ASTM E-709 – Standard Guide for Magnetic Particle Testing
ASTM E-3024 – Standard Practice for Magnetic Particle Testing for General Industry
AWS D1.1 – Structural Welding Code – Steel
EN-1369 – Founding – Magnetic Particle Testing

Nota: as normas acima foram utilizadas apenas como uma referência. Este procedimento não tem como finalidade atender a todos os requisitos das normas citadas

3. MATERIAIS A SEREM ENSAIADOS

- 3.1 Materiais: aço carbono e aço de baixa liga com teores de liga até 6%.
- 3.2 Processo de Fabricação: fundidos, forjados, laminados e soldados.
- 3.3 Formas: Chapas Planas, Juntas Tubulares, Juntas circunferências e longitudinais em tubos com diâmetro $\geq 4"$ e Juntas de ângulo em T.

4. SAÚDE E SEGURANÇA

- 4.1 Antes da aplicação deste procedimento todas as pessoas envolvidas com a inspeção, devem estar familiarizadas com os conteúdos dos procedimentos de segurança local.
- 4.2 As inspeções devem ser conduzidas em locais ventilados, para se evitar intoxicações por inalação de vapores provocados por aerossóis ou solventes.
- 4.3 Como alguns materiais utilizados no ensaio por partículas magnéticas são inflamáveis, estes devem ser utilizados longe de locais onde possa haver chamas ou superaquecimento.
- 4.4 Em função dos locais de inspeção e dos produtos a serem utilizados, o inspetor deve avaliar a necessidade de uso de EPI'S apropriados.

5. EQUIPAMENTOS E TÉCNICA DE MAGNETIZAÇÃO

5.1 Equipamentos

- 5.1.1 O aparelho deve possuir um interruptor de corrente que pode estar instalado em um dos punhos dos eletrodos, de modo a evitar a abertura de arco entre os eletrodos e a peça em ensaio.
- 5.1.2 A corrente de magnetização deve ser ligada somente após o posicionamento adequado dos eletrodos na peça e ser desligada antes da retirada destes.



- 5.1.3 Se for usada uma fonte de corrente de magnetização com tensão superior a 25V em circuito aberto, o material das ponteiros dos eletrodos deve ser de chumbo, aço ou alumínio, ao invés de cobre a fim de evitar a depósito de cobre na peça em ensaio.
- 5.1.4 O espaçamento dos eletrodos deve ser mantido entre 75 e 200 mm.
- 5.1.5 A corrente de magnetização deve retificada de meia onda, devendo estar dentro dos limites da Tabela I.
- 5.1.6 Todos os equipamentos portáteis e semiportáteis devem possuir amperímetro para verificar se a corrente de magnetização está sendo aplicada corretamente.
- 5.1.7 Cada amperímetro deve ser calibrado em um intervalo máximo de 12 meses e sempre após reparo elétrico, revisão periódica ou avaria do aparelho. Esta calibração deve ser realizada tomando-se leituras comparativas em pelo menos três valores de corrente, e o desvio não pode ser superior a $\pm 10\%$, do fundo de escala, do valor real. Os amperímetros devem estar posicionados em local adequado, de modo a ser possível a leitura da corrente durante o ensaio.
- 5.1.8 As ponteiros dos eletrodos devem estar limpas e com pressão suficiente para permitir a passagem de corrente à peça e minimizar a abertura de arco elétrico.
- 5.1.9 Para aços temperáveis, recomenda-se a utilização de outra técnica de magnetização, uma vez que a abertura de arco não pode ser completamente evitada.
- 5.1.10 Esta técnica de eletrodos não deve ser realizada em peças com a superfície acabada.
- 5.1.11 Deve ser instalado um dispositivo de controle remoto para o acionamento na manopla do eletrodo, permitindo que a corrente seja ligada após as ponteiros terem sido colocadas corretamente e para desligá-la antes que as ponteiros sejam removidas evitando o arco elétrico.

5.2 Técnica de Magnetização

- 5.2.1 Será utilizada a técnica de magnetização circular através do campo dos eletrodos de contato.

6. TÉCNICA DE ENSAIO E CORRENTE DE MAGNETIZAÇÃO

- 6.1 Será utilizada a técnica de ensaio contínua, ou seja, a aplicação das partículas e remoção do excesso será feita simultaneamente à aplicação da força magnetizante.
- 6.2 Será utilizada corrente retificada de meia onda com valores definidos conforme tabela 1:

Espessura da peça (mm)	Corrente (Amperes) por mm de espaçamento entre eletrodos
< 19	3,5 a 4,5
≥ 19	3,6 a 4,4

TABELA 1 - Limites para Corrente de Magnetização pela Técnica dos Eletrodos

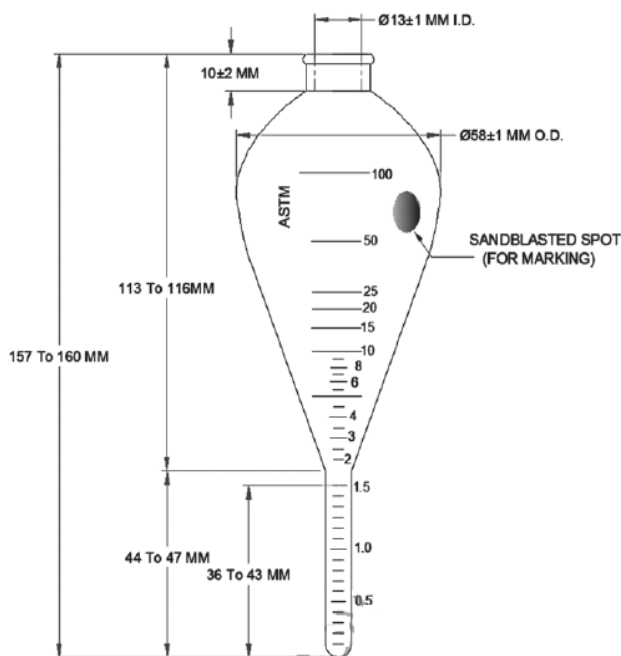
7. PARTICULAS MAGNÉTICAS

- 7.1 As partículas magnéticas utilizadas no ensaio por via úmida ou via seca devem possuir características geométricas, magnéticas e de visibilidade que proporcionem, na condição de ensaio, mobilidade, contraste e sensibilidade adequada.
- 7.2 A suspensão das partículas por via úmida deve ser preparada segundo as recomendações do fabricante das partículas magnéticas.

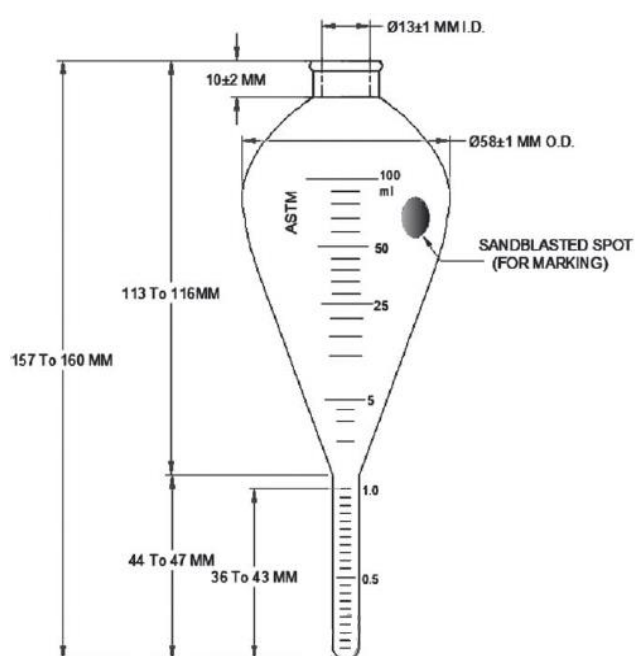
7.3 A concentração de partículas no veículo deve ser verificada em tubo decantador. Uma amostra de 100 ml da suspensão que está sendo utilizada deve ser decantada por 30 minutos quando o veículo utilizado for água e 60 minutos para destilados de petróleo. A concentração deve ser verificada no início e a cada 4 horas de trabalho. Para partículas fluorescentes, o volume de partículas decantado deve estar compreendido entre 0,1 e 0,4 ml. Para partículas coloridas (visíveis sob luz normal), o volume de partículas decantado deve estar compreendido entre 1,2 e 2,4 ml.

Nota:

- (1) Para a decantação deve ser utilizado um tubo decantador tipo “pera” com uma haste (caule) de 1 ml (divisões de 0,05 ml) para suspensões de partículas fluorescentes ou coloridas, e com 1,5 ml de haste (divisões de 0,1 ml) para suspensões com partículas coloridas. A especificação ASTM D96 apresenta um tubo centrífugo em forma de pera que atende aos requisitos citados neste parágrafo (ver figura 1).
- (2) Quando o veículo utilizado for a água deve ser utilizado o condicionador/distensor conforme as recomendações do fabricante.



Modelo de Tubo decantador tipo pera utilizado para verificação da concentração de partículas via úmida colorida conforme ASTM D96.



Modelo de Tubo decantador tipo pera utilizado para verificação da concentração de partículas via úmida fluorescente conforme ASTM D96.

FIGURA 1 – tubo decantador

8. TINTA DE CONTRASTE

- 8.1 A espessura da película de tinta de contraste deve ser no máximo de 25 µm. A verificação da camada de tinta de contraste pode ser realizada com o uso de um dos padrões de verificação de eficiência de ensaio indicados neste procedimento, desde que seja aplicada na região a ser ensaiada e no padrão simultaneamente. A visualização da indicação do padrão evidencia uma camada de tinta de contraste satisfatória.
- 8.2 A tinta de contraste não deve influir desfavoravelmente na mobilidade das partículas magnéticas e não deve ocasionar diminuição da sensibilidade do ensaio.



- 8.3 A tinta de contraste não deve ser solúvel no veículo, durante o tempo necessário à execução do ensaio.
- 8.4 O uso de tinta de contraste só é permitido quando a inspeção for realizada por meio de partículas magnéticas via úmida colorida.
- 8.5 A região de contato dos eletrodos deve estar isenta de tinta de contraste para não interferir na passagem de corrente elétrica.

9. EXTENSÃO DA INSPEÇÃO

- 9.1 A inspeção deve cobrir 100% da solda e, no mínimo, os 25 mm adjacentes. No caso de chapa plana lisa (sem solda), deve ser inspecionada em 100% de sua área.

10. CONDIÇÕES DE ENSAIO

- 10.1 Quando o ensaio for conduzido sob luz normal (branca), a intensidade de luz na superfície da peça deve ser de no mínimo 1076 lux.
- 10.2 Quando o ensaio for conduzido sob Luz Ultravioleta a área escurecida deve apresentar luminosidade máxima de 20 lux.
- 10.3 A lâmpada ultravioleta, antes da sua utilização, deve ser aquecida por um tempo mínimo de 5 minutos. Caso o sistema de iluminação utilize a lâmpada de LED este tempo de aquecimento não se aplica. A intensidade da luz negra medida no início e a cada 8 horas de trabalho deve ser comprovada através do uso de um medidor / monitor sensível a luz ultravioleta, operando num espectro centrado em 365nm (3650 °Å). Esta intensidade, na superfície da peça, não deve ser inferior a 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.
- 10.4 É recomendado que o inspetor deva estar no local do ensaio pelo menos 5 minutos antes de iniciar a inspeção, para adaptação de seus olhos ao ambiente escurecido.
- 10.5 Óculos com lentes fotocromáticas não devem ser utilizados durante os trabalhos.

11. PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE

- 11.1 A área a ser inspecionada, conforme citado no item 9 deste procedimento, deve ser preparada através de métodos adequados (escovamento, lixamento, esmerilhamento etc.). Esta área deve estar seca e livre de carepas, graxa, óleo, fluxo, escória, tinta e qualquer outro material que possa interferir na execução do ensaio.
- 11.2 Para o ensaio de corpos de prova nos exames de certificação, normalmente um escovamento manual, seguido de limpeza com solvente, é suficiente para atender aos requisitos citados em 11.1.

12. TEMPERATURA

- 12.1 Durante a execução do ensaio, a temperatura da superfície da peça, caso não seja definida pelo fabricante, não deve ser superior a 180°C para o ensaio por via seca e 57°C para o ensaio por via úmida.
- 12.2 Os ensaios por via seca deverão ser conduzidos apenas sobre superfícies que não apresentem depósitos de substâncias líquidas e/ou gordurosas.
- 12.3 Qualquer área que devido a irregularidades superficiais ou rugosidade, cause dúvida durante o ensaio, deve ser limpa aplicando métodos mecânicos como aplicação de escovas de aço, manuais ou rotativas, e/ou disco de desbaste, seguido com limpeza por solvente.

12.4 Quando da utilização da tinta de contraste devem ser obedecidos os limites de temperatura recomendados pelo fabricante.

13. TECNICAS DE SOBREPOSIÇÃO

13.1 O ensaio deve ser executado com suficiente sobreposição, de modo a assegurar que 100% da área a ser ensaiada seja coberta com a sensibilidade requerida. Pelo menos dois ensaios devem ser executados em cada área, sendo que as linhas de fluxo magnético do segundo ensaio sejam aproximadamente perpendiculares (ângulo variando entre 50 e 130°) àquelas obtidas durante o primeiro ensaio (Figura 2).

13.2 Deve ser realizada, adicionalmente, uma verificação nas bordas da chapa, quando a sobreposição não possibilita a efetiva detecção das descontinuidades nestas regiões.

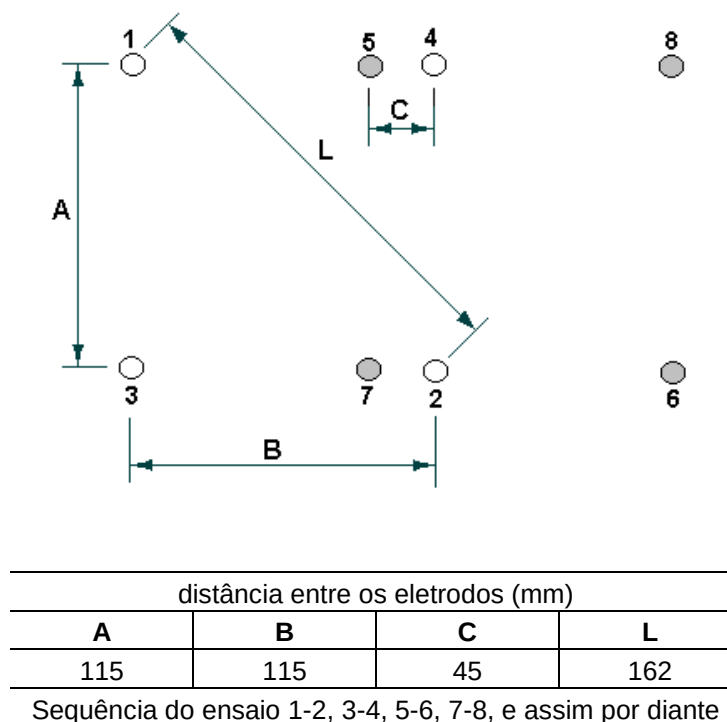


Figura 2 - Sobreposição

14. MÉTODO DE ENSAIO

14.1 As partículas magnéticas secas devem ser aplicadas de tal forma a produzir uma camada leve em forma de poeira, assentando-se sobre a superfície da peça enquanto esta estiver sendo magnetizada (técnica contínua). A remoção do excesso deve ser feita ainda sob força magnetizante, sem perturbar as partículas atraídas pelo campo de fuga.

14.2 As partículas magnéticas via úmida serão aplicadas por pulverização ou derramamento sobre a área a ser ensaiada durante a aplicação da corrente de magnetização.

15. VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO ENSAIO

- 15.1 A verificação da eficiência do ensaio deve ser feita no início e a cada 8 horas de cada jornada de trabalho utilizando-se um indicador de campo magnético conforme figuras 3 e 4. O campo magnético na área útil do ensaio será considerado adequado se aparecer uma linha claramente definida de partículas magnéticas sobre a face do indicador.
- 15.2 Se alguma verificação for considerada insatisfatória, todas as peças liberadas desde a última comprovação satisfatória devem ser novamente inspecionadas.

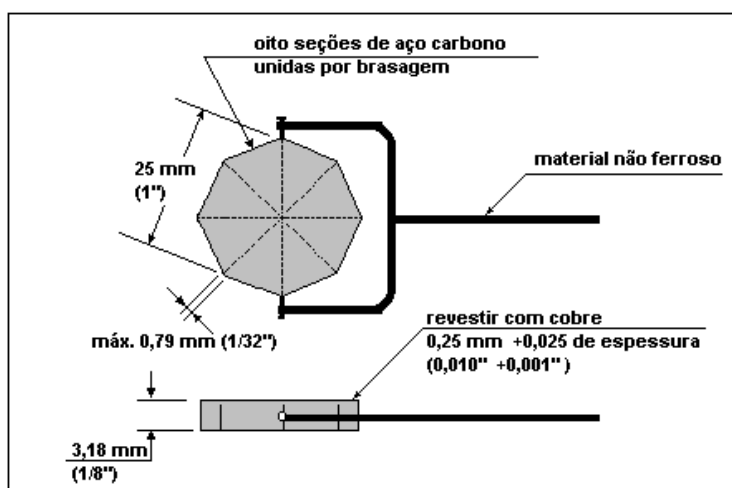


FIGURA 3 - Indicador de campo magnético octogonal

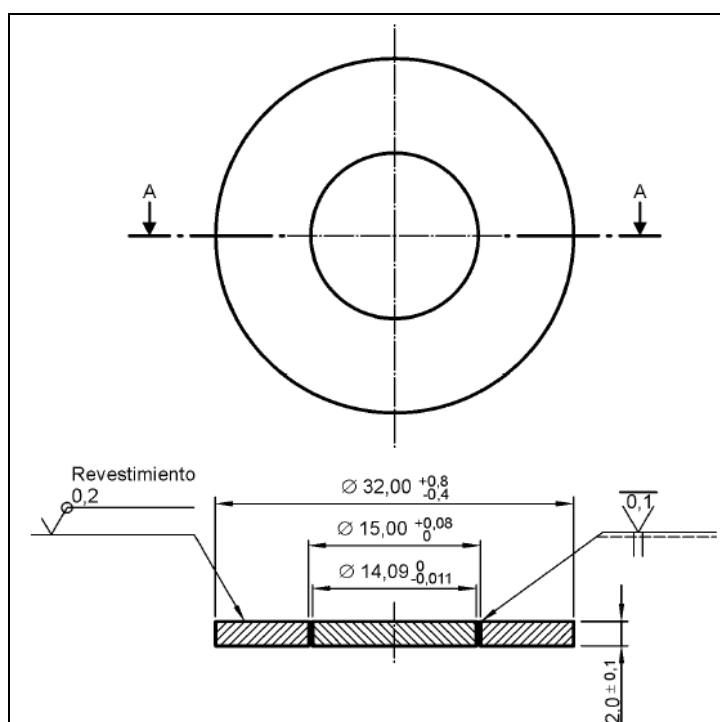


FIGURA 4 - Indicador de campo magnético tipo disco



16. DESMAGNETIZAÇÃO

16.1 Não aplicável.

17. LIMPEZA FINAL

17.1 Deverão ser retirados todos os resíduos e marcações decorrentes do ensaio.

18. REGISTRO DE ENSAIO

18.1 As indicações devem ser registradas no formulário indicado no Anexo 1.

18.2 No Anexo 2A, 2B ou 3 as indicações devem ser desenhadas. O desenho deve representar as descontinuidades detectadas aproximando-se da realidade quanto ao tamanho e quantidade. Devem ser registradas todas as indicações detectadas com dimensão maior que 1,5 mm. Nos formulários dos Anexos 2A, 2B ou 3 numerar as indicações possibilitando a correlação com o formulário apresentado no Anexo 1.

19. AVALIAÇÃO DO RESULTADO

19.1 Classificação das indicações - Todas as indicações devem ser classificadas em lineares e arredondadas conforme abaixo:

- a) Indicação linear é a que apresenta um comprimento maior que três vezes a largura.
- b) Indicação arredondada é a que apresenta formato circular ou elíptico, com comprimento igual ou menor que três a largura.

As indicações devem ser avaliadas conforme um dos seguintes critérios citados nos anexos:

19.2 Anexo 4 - Critério de aceitação aplicável a Vasos de Pressão, trocadores de calor e permutadores (referência ASME VIII DIVISÃO 1 APÊNDICE 6).

19.3 Anexo 5 – Critério de aceitação aplicável a estruturas metálicas de aço carbono (referência AWS D1.1).

19.4 Anexo 6 - Critério de aceitação aplicável a fundidos em geral (referência EN-1369).

Nota: Na etapa 2 do exame prático de certificação (ensaio de corpos de prova) deve ser aplicado o critério de aceitação descrito no Anexo 4.

19.5 As informações contidas nos anexos são exemplos de critérios de aceitação, baseados em normas, utilizados no método de END. A finalidade da inclusão destes critérios é o treinamento do candidato sob a supervisão do N3.



ANEXO 01 - FORMULARIO DE REGISTRO DOS RESULTADOS



PARTÍCULAS MAGNÉTICAS
RELATÓRIO DE ENSAIO

Procedimento nº/rev.:		Critério de Aceitação:	Relatório nº: _____ Folha: _____ de _____
Material:	Nº CP.:	Condição da Superfície:	Norma de Referência:

☐ YOKE	☐ ELETRODO	☐ CONTATO DIRETO	☐ BOBINA	☐ CONDUTOR CENTRAL
Espessura C.P.(mm):	Diâmetro C.P.(mm):	Comprimento X Largura(mm):	Partícula Magnética /Marca / Fabricante:	
Equipamento - Tipo / Modelo:	Diâmetro Bobina e nº Espiras:		Diâmetro Condutor:	
Corrente de Magnetização:	Valor da Corrente Utilizada:		Partículas Magnéticas ☐ Colorida ☐ Fluorescente	
Ensaio ☐ Via úmida ☐ Via Seca		Desmagnetização ☐ Sim ☐ Não		Corrente de Desmagnetização:

Nº DESCONTINUIDADE	TIPO DE DESCONTINUIDADE	LOCALIZAÇÃO DE A	DIMENSÃO DA DESCONTINUIDADE	LAUDO	OBSERVAÇÃO

1. LEGENDA:

LAUDO A = APROVADO R = REPROVADO NEC = NECESSÁRIO EXAME COMPLEMENTAR	DESCONTINUIDADE SP = SOBREPOSIÇÃO PO = POROSIDADE FP = FALTA DE PENETRAÇÃO FF = FALTA DE FUSÃO TT = TRINCA TRANSVERSAL TL = TRINCA LONGITUDINAL
--	--

☐ APROVADO	☐ REPROVADO	☐ NEC
Nome do Candidato:		Nº:
Modalidade do Exame:		Assinatura do Candidato:
Empresa:	Data:	Visto do Examinador:



PARTÍCULAS MAGNÉTICAS
PROCEDIMENTO DE END
Técnica dos Eletrodos
PR-002

Manual: **S-PM**
Página: **9 de 30**
Revisão: **8 (Mar/2024)**

ANEXO 2A

PM 06 CP _____		TÉCNICA ☐ ELETRODOS ☐ YOKE	
CANDIDATO Nº _____		VIA ☐ SECA ☐ UMIDA ☐ COLORIDA ☐ FLUORESCENTE	
0	250	500	750
50	300	550	800
100	350	600	850
150	400	650	900
200	450	700	950
250	500	750	1000



ANEXO 2B

Mapeamento Longitudinal das Descontinuidades.



LIQUIDO PENETRANTE Tipo: ☐ I ☐ II Técnica: ☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E ☐ F ☐ G ☐ H ☐ I ☐ J ☐ K ☐ L ☐ M ☐ N ☐ O ☐ P ☐ Q ☐ R ☐ S ☐ T ☐ U ☐ V ☐ W ☐ X ☐ Y ☐ Z

PM 05 CP _____ Técnica ☐ Eletrodos ☐ Yoke

Via ☐ Seca ☐ Úmida

Colorido ☐ Fluorescente

Chapa Plana ☐ Junta de Ângulo ☐ Partícula Magnética

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50

SNOC Nº _____ Candidato: _____



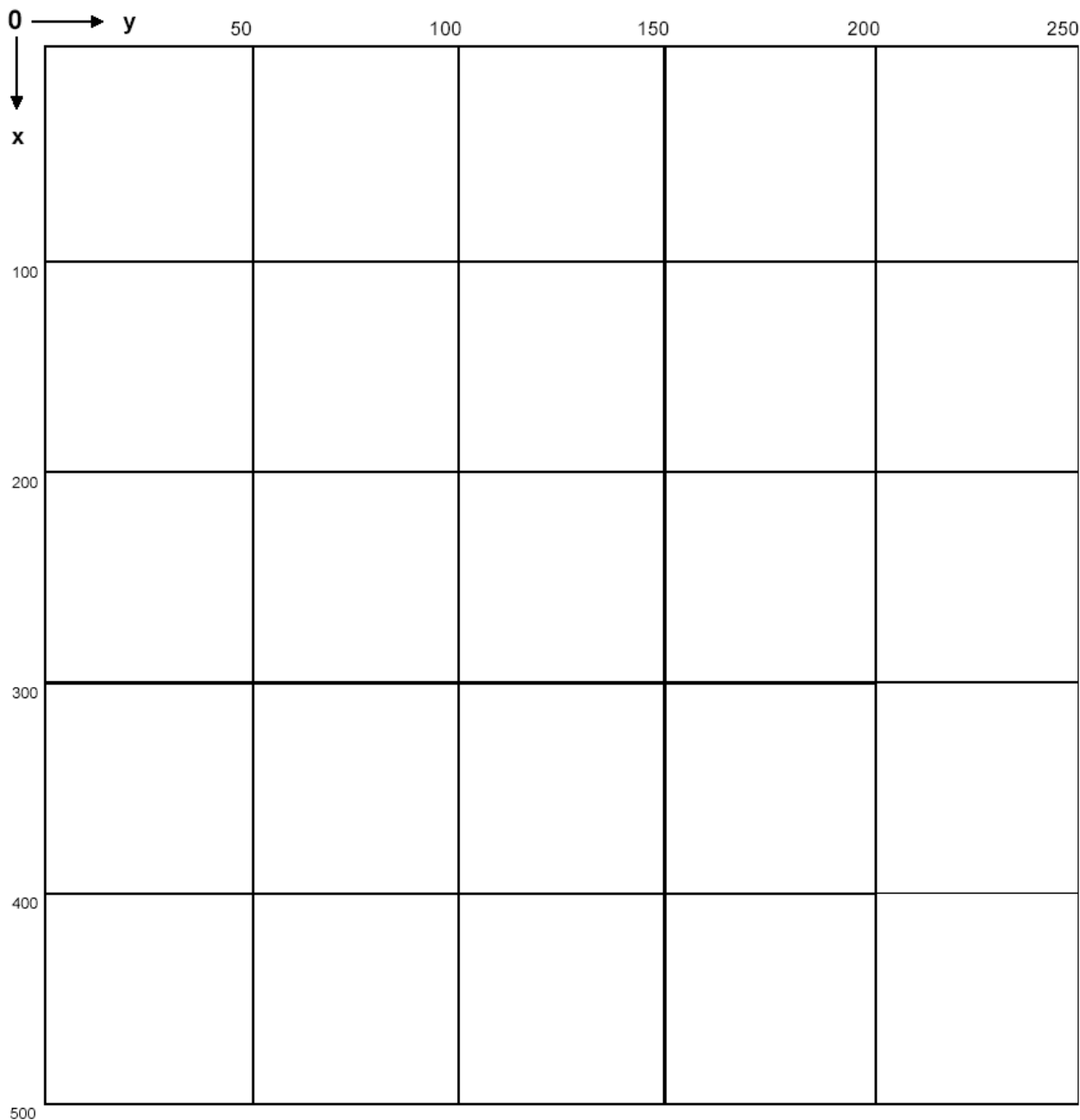
ANEXO 3



Mapeamento Longitudinal das
descontinuidades

RELATÓRIO N.º
FOLHA: _____ de _____

PM 02 CP _____ Técnica ☐ eletrodos ☐ Yoke
via ☐ seca ☐ úmida ☐ colorida ☐ Fluorescente



CANDIDATO: _____ SNQC Nº _____



ANEXO 4 – Critério de aceitação aplicável a Vasos de Pressão, trocadores de calor e permutadores.
(referência ASME VIII DIVISÃO 1 APÊNDICE 6)

11.1 Avaliação das indicações

A indicação de uma descontinuidade pode ser maior do que a própria descontinuidade que a causa; entretanto, a forma da indicação é que deve ser utilizada para a aplicação do critério de aceitação. Devem ser consideradas relevantes somente às indicações cuja maior dimensão for superior a 1,5mm (1/16").

- a) Indicação linear é a que apresenta um comprimento maior que três vezes a largura.
- b) Indicação arredondada é a que apresenta formato circular ou elíptico, com comprimento igual ou menor que três a largura.
- c) Quaisquer indicações questionáveis ou duvidosas devem ser submetidas a um reexame, para que se defina se elas são relevantes ou não.

11.2 Padrões de aceitação

Estes padrões de aceitação devem ser aplicados exceto quando outros padrões mais restritivos forem especificados para materiais ou aplicações específicas dentro desta divisão.

Todas as superfícies examinadas devem estar isentas de:

- a) Indicações lineares relevantes.
- b) Indicações arredondadas relevantes, maiores do que 5,0 mm (3/16").
- c) Quatro ou mais indicações arredondadas relevantes alinhadas, separadas por uma distância igual ou menor que 1,5mm (1/16"), medidas entre bordas de indicações consecutivas.

**ANEXO 5 – Critério de aceitação aplicável a estruturas metálicas de aço carbono
(referência AWS D1.1)**

O ensaio de Partículas Magnéticas pela norma AWS é uma extensão do ensaio visual e os critérios aplicados são os mesmos, portanto a avaliação das descontinuidades deve ser baseada na dimensão real da descontinuidade.

O critério de aceitação deve ser aplicado conforme a tabela abaixo:

Critérios	Estruturas estaticamente carregadas	Estruturas ciclicamente carregadas	Juntas tubulares
(1) Trincas (de qualquer origem) – a solda não deve apresentar trincas	X	X	X
(2) Fusão na solda e metal base – Deve existir uma total fusão entre as camadas de metal de solda e entre metal de solda e metal de base	X	X	X
(3) Tempo para execução do ensaio – O ensaio pode ser realizado imediatamente após a conclusão e resfriamento da solda, exceto para os aços ASTM A 514, ASTM A 517, e ASTM A 709 Graus 100 e 100W, aços que devem ser ensaiados pelo menos 48 horas após a conclusão da solda.	X	X	X
(4) Porosidade (a) Juntas de topo com penetração total, transversal aos esforços de tração não devem ter porosidade visível. Para todas as outras soldas em chanfro e em ângulo, o somatório das porosidades visíveis com 1 mm (1/32") ou mais de diâmetro, não deve exceder a 10 mm (3/8") em qualquer 25 mm (1") de solda linear e não deve ter mais que 19 mm (3/4") em qualquer 305 mm (12") de solda.	X		
(b) A quantidade de porosidade em juntas de ângulo não deve exceder a 1 a cada 100 mm (4") de solda e o diâmetro máximo não deve exceder a 2 mm (3/32"). <u>Exceção:</u> para soldas em ângulo conectando chapas de reforço à estrutura, a soma dos diâmetros da porosidade não deve exceder a 10 mm em qualquer 25 mm de solda linear e não deve exceder a 20 mm em qualquer 300 mm de solda.		X	X
(c) Juntas de topo com penetração total, transversais aos esforços de tração não devem ter porosidade visível. Para todas as outras soldas em chanfro, a quantidade de porosidade não deve exceder a 1 em cada 100 mm (4") de solda e o diâmetro máximo não deve exceder 2 mm (3/32").		X	X

Notas:

- a) "X" indica que o critério é aplicável para o tipo de conexão e o quadro em branco indica que não é aplicável.
- b) Esta tradução apresenta alguns tópicos da tabela original que consta na norma AWS, com os itens aplicáveis ao ensaio de partículas magnéticas, sempre considerando que foi realizado um ensaio visual antes do ensaio de partículas magnéticas. Portanto descontinuidades como mordeduras e outras, devem ser avaliadas pelo ensaio visual.

Anexo 6 - Critério de aceitação aplicável a fundidos em geral (referência EN-1369)**A6.1 INDICAÇÕES DE DESCONTINUIDADES**

As descontinuidades geralmente vistas em fundições são fornecidas na tabela 1 através de símbolos (A, B, C, D, E, F, H ou K). Estas descontinuidades podem fornecer indicações, diagramas magnéticos e grupos de indicações em qualquer superfície em particular.

Tabela 1: Natureza das descontinuidades e tipos de indicações correspondentes de partícula magnética.

Natureza Das descontinuidades	Símbolo	Tipos de indicações de inspeção de partícula magnética		
		Não linear SM	Linear LM	Alinhada AM
Porosidade de gás	A	X	-	X
Inclusões de areia e/ou escória	B	X	-	X
Defeitos de encolhimento devido a nitrogênio ¹⁾	C	X	X	X
Rachaduras	D	-	X	X
Rasgos Quentes	E	-	X	X
Inserções	F	-	X	X
Metal frio e gota fria	H	-	X	X
Outras inclusões (carcaça)	N	X	-	X
¹⁾ Para ferro fundido somente				

Tais indicações podem ser de diferentes tipos.

A6.2 DEFINIÇÃO DA INDICAÇÃO DA INSPEÇÃO MAGNÉTICA**6.2.1 Geral**

As indicações de descontinuidades reveladas pela inspeção de partícula magnética podem ter diferentes formas e tamanhos. A distinção entre as indicações de descontinuidades é feita dependendo da razão do comprimento L da indicação de sua largura W da maneira descrita em 5.2.2 e 5.2.3.

6.2.2 Indicações não lineares (SM)

As indicações são consideradas não lineares quando o comprimento L for menor que três vezes a largura W .

O símbolo para indicações não lineares é SM (S para superfície e M para partícula magnética).

6.2.3 Indicações lineares e alinhadas (LM e AM)**6.2.3.1 Indicações lineares (LM)**

As indicações são consideradas lineares quando L for maior ou igual a três vezes W .

O símbolo para indicações lineares é LM (L para linear e M para partícula magnética).

6.2.3.2 Indicações alinhadas (AM)

As indicações são consideradas alinhadas nos seguintes casos:

- Não linear: a distância entre indicações for menor que 2 mm e pelo menos três indicações são anotadas;

- Linear: a distância entre duas indicações for menor que o comprimento L da descontinuidade mais longa no alinhamento.

Um alinhamento de indicações é considerado uma indicação única. Seu comprimento é igual ao comprimento L geral do alinhamento.

OBS: O comprimento L geral é a distância desenvolvida entre o ponto de início da primeira descontinuidade e o ponto de término da última descontinuidade. Exemplo: $L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5$ (veja a figura 1).

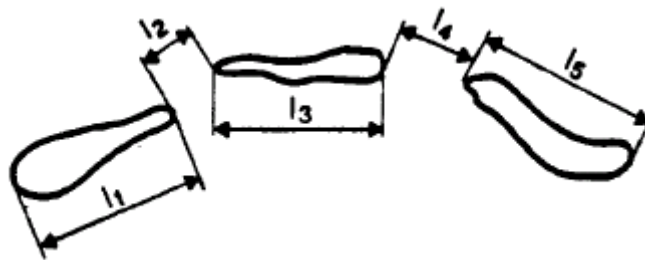


Figura 1: Exemplo de L

O símbolo de indicações alinhadas é AM (A para alinhado e M para partícula magnética).

A6.3 Geral

Os níveis de severidade são projetados como uma escala de referência e são definidos dependendo dos tipos de indicações.

6.3.1 Indicações não lineares

Para as indicações não lineares, os níveis de severidade (veja a tabela 2) são definidos por:

- O comprimento (maior dimensão) L , da menor indicação a ser considerada;
- Se aplicável, a área total máxima de superfície das indicações em uma superfície em particular (a moldura de 105 mm x 148 mm corresponde ao formato ISO A6);
- O comprimento L_2 máximo das indicações.

Tabela 2: níveis de severidade para inspeção de partícula magnética – Indicações não-lineares isoladas (SM)

Característica		Níveis de Severidade						
		SM 001	SM 01	SM 1	SM 2	SM 3	SM 4	SM 5
Meios de Inspeção		Lente de aumento ou olho nu		Olho nu				
Aumento para observação de indicação de partícula magnética		≤ 3		1				
Comprimento L_1 da menor indicação a ser considerada em mm		0,3		1,5	2	3	5	5
Indicações não lineares (SM)	Área total máxima de superfície permitida em mm ²	-	-	10	35	0	200	500
	Comprimento L_2 máximo individual permitido em mm	0	1	2 ¹⁾	4 ¹⁾	6 ¹⁾	10 ¹⁾	16 ¹⁾
1) Um número máximo de duas indicações das dimensões designadas é permitido								
Nota 1: Somente valores expressos nesta tabela são válidos. Figuras de referência são somente para Informação (veja o Anexo B).								
Nota 2: A sensibilidade pode variar dependendo do método de inspeção de partícula selecionada.								

6.3.2 Indicações lineares e alinhadas

6.3.2.1 Geral

Para as indicações lineares e alinhadas, os níveis de severidade (veja a tabela 3) são definidos por:

- O comprimento (maior dimensão) L_1 , da menor indicação a ser considerada;
- O comprimento L_2 máximo das indicações lineares e alinhadas.
- A soma dos comprimentos das indicações lineares e alinhadas excedendo o comprimento L_1 na moldura medindo 150 mm x 148 mm.

Tabela 3: níveis de severidade para inspeção de partícula magnética – indicações lineares (LM) e alinhadas (AM).

Característica		Níveis de Severidade													
		LM 001	LM 01	LM 1		LM 2		LM 3		LM 4		LM 5			
		AM 001	AM 01	AM 1		AM 2		AM 3		AM 4		LM 5			
Meios de inspeção		Lente de aumento ou olho nu		Olho nu											
Aumento para observação de indicação de partícula magnética		≤ 3		1											
Comprimento L ₁ da menor indicação a ser considerada em mm		0,3		1,5		2		3		5		5			
Arranjo das indicações ¹⁾ isoladas (I) ou cumulativas (C)		I ou C		I	C	I	C	I	C	I	C	I	C		
Comprimento L ₂ máximo permitido de indicações lineares (LM) e alinhadas (AM) dependendo da espessura da seção (t em mm ²⁾)	Espessura da seção tipo “a” t ≤ 16 mm	0	1	2	4	4	6	6	10	10	18	18	25		
				Figura C. 1		Figura C. 2		Figura C. 3		Figura C. 4		Figura C. 5			
	Espessura da seção do tipo “b” 16 mm < t ≤ 50 mm	0	1	3	6	6	12	9	18	18	27	27	40		
				Figura C. 2		Figura C. 3		Figura C. 4		Figura C. 5		Figura C. 6			
	Espessura da seção tipo “c” t > 50 mm	0	2	5	10	10	20	15	30	30	45	45	70		
				Figura C. 3		Figura C. 4		Figura C. 5		Figura C. 6		Figura C. 7			
¹⁾ As indicações lineares e alinhadas serão consideradas para o cálculo do comprimento cumulativo ²⁾ Não existe nenhuma relação funcional entre cada tipo de espessura de seção e o comprimento máximo de rachadura, relacionada a estudo de mecânica da fratura. Contudo, esta tabela é um guia útil onde não houver as mecânicas relevantes de fratura.															
NOTA 1: Somente valores expressos nesta tabela são válidos. Figuras de referência são somente para informação (veja o Anexo C)															
Nota 2: A sensibilidade pode variar dependendo do método de inspeção de partícula magnética.															

6.3.3 Tipo de espessura de seção

Três tipos de espessura de seção são especificados:

- a: $t \leq 16$ mm;

- b: $16 \text{ mm} < t \leq 50$ mm;

- c: $t > 50$ mm;

Onde t é a espessura da seção.

6.3.4 Seleção do nível de severidade

Os níveis de severidade devem ser selecionados a partir das tabelas 2 e/ou 3 juntamente com, se necessário, as figuras de referência fornecidas nos Anexos B e C. As figuras de referência são desenhadas em uma escala de 1:1 e são exemplos.

A Tabela 2 e o Anexo B correspondem às indicações não-lineares (isoladas (SM)).

A Tabela 3 e o Anexo C correspondem a indicações lineares (LM) e alinhadas (AM) ¹⁾.

Nota: os níveis de severidade não podem ser considerados na mesma progressão da tabela 2 para a tabela 3 e do Anexo B para o Anexo C. Portanto, não devem ser considerados equivalentes em relação à severidade da inspeção. Os critérios e níveis de severidade podem diferir de uma parte da fundição para outra, devido, por exemplo, a qualquer estresse aplicado.

A escolha da figura de referência depende do tipo de espessura de seção.

6.3.5 Designação dos níveis de severidade



As exigências no pedido ou nas especificações devem estar em conformidade com a tecnologia usada nesse padrão.

Exemplos das terminologias corretas são fornecidos abaixo:

- Indicações não lineares, nível 2: SM 2 (veja 5.2);
- Indicações lineares e alinhadas, nível 5: LM 5c/ AM 5c (veja 5.3).

OBS: “c” em LM5c significa que o tipo de espessura da seção t é maior que 50 mm.

A6.4 CLASSIFICAÇÃO DAS INDICAÇÕES E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

6.4.1 Classificação das indicações usando as tabelas 2 e 3

6.4.1.1 Geral

Para classificar uma indicação de descontinuidade, é necessário colocar uma moldura de 105 mm x 148 mm no local mais desfavorável, i.e., exibindo a maior severidade de descontinuações.

6.4.1.2 Indicações não lineares

Somente aquelas indicações com comprimento maior que L_1 deverão ser consideradas (veja a tabela 2).

A soma das áreas de superfície destas indicações deverá ser calculada ²⁾.

O comprimento destas indicações deverá ser medido.

O nível das indicações (SM) deverá ser estabelecido usando a tabela 2.

6.4.1.3 Indicações lineares e alinhadas

O comprimento L das indicações isoladas maiores que o comprimento mínimo considerado, definido pelo nível de severidade exigido, deverá ser medido. A soma das indicações incluídas na moldura de 105 mm x 148 mm deverá ser calculada.

A espessura de seção t no local de inspeção deverá ser medida.

O nível das indicações LM e AM deverá ser estabelecido usando a tabela 3.

Os comprimentos das indicações lineares e alinhadas maiores que o comprimento mínimo devem ser somados e o resultado deverá ser comparado ao comprimento “cumulativo” especificado na tabela 3.

6.4.2 Classificação das indicações usando as figuras de referência

O nível de severidade 5 corresponde às maiores indicações. O nível de severidade 01 corresponde às menores indicações.

Geralmente, somente as figuras de referência para os níveis de severidade 1, 2, 3, 4 e 5 são usadas.

As figuras de referência iguais às indicações não-lineares, bem como as lineares e alinhadas, (veja as tabelas 2 e 3) são exibidas nos Anexos B e C.

Uma figura real e uma figura de referência são equivalentes quando a mesma superfície total de indicações (não linear) e/ou o mesmo comprimento de indicações lineares e alinhadas de aparência similar tiverem sido detectadas. As descontinuidades máximas permissíveis poderão aparecer simultaneamente na área de 105 mm x 148 mm.

Anexo B (informativo)

FIGURAS DE REFERÊNCIA - INDICAÇÕES NÃO LINEARES SM

OBS: Todas as figuras de referência exibidas neste anexo são para referência somente e são desenhadas e devem ser usadas em uma escala de 1:1.

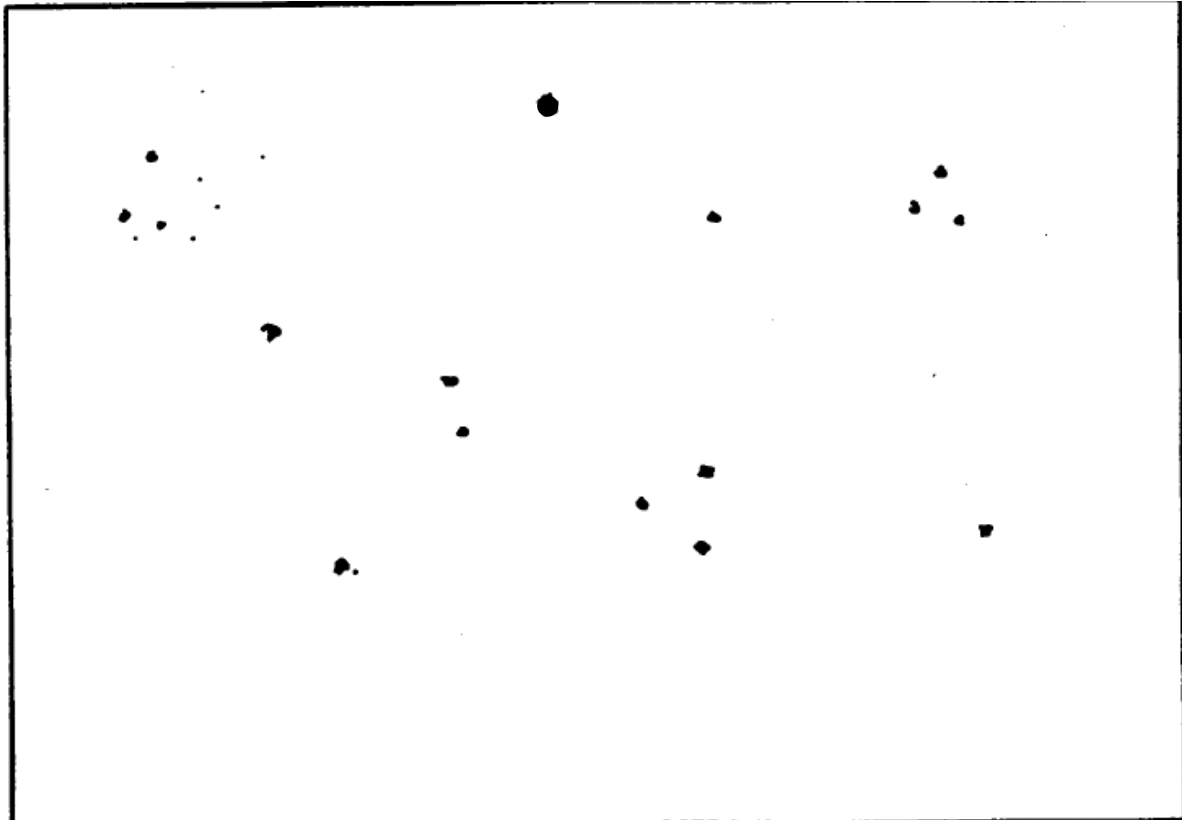


Figura B.1: Nível de severidade SM 1

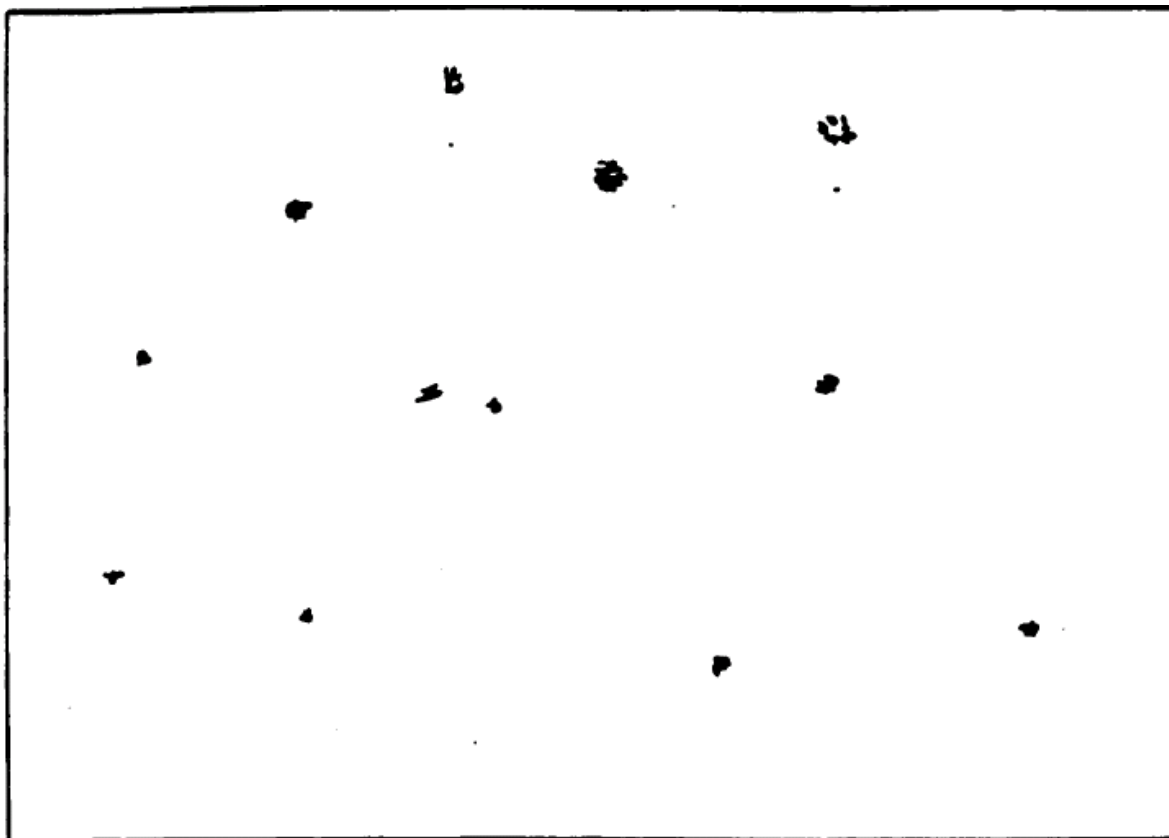


Figura B.2: Nível de severidade SM 2

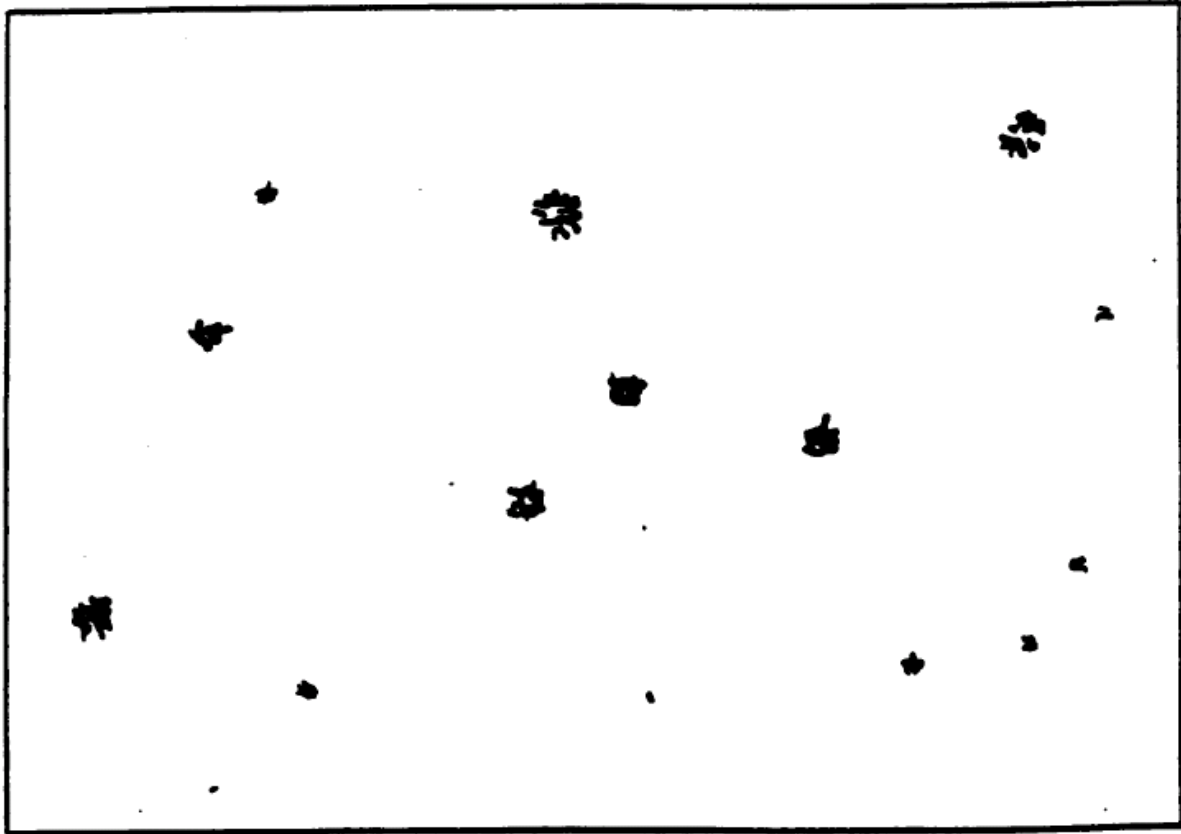


Figura B.3: Nível de severidade SM 3

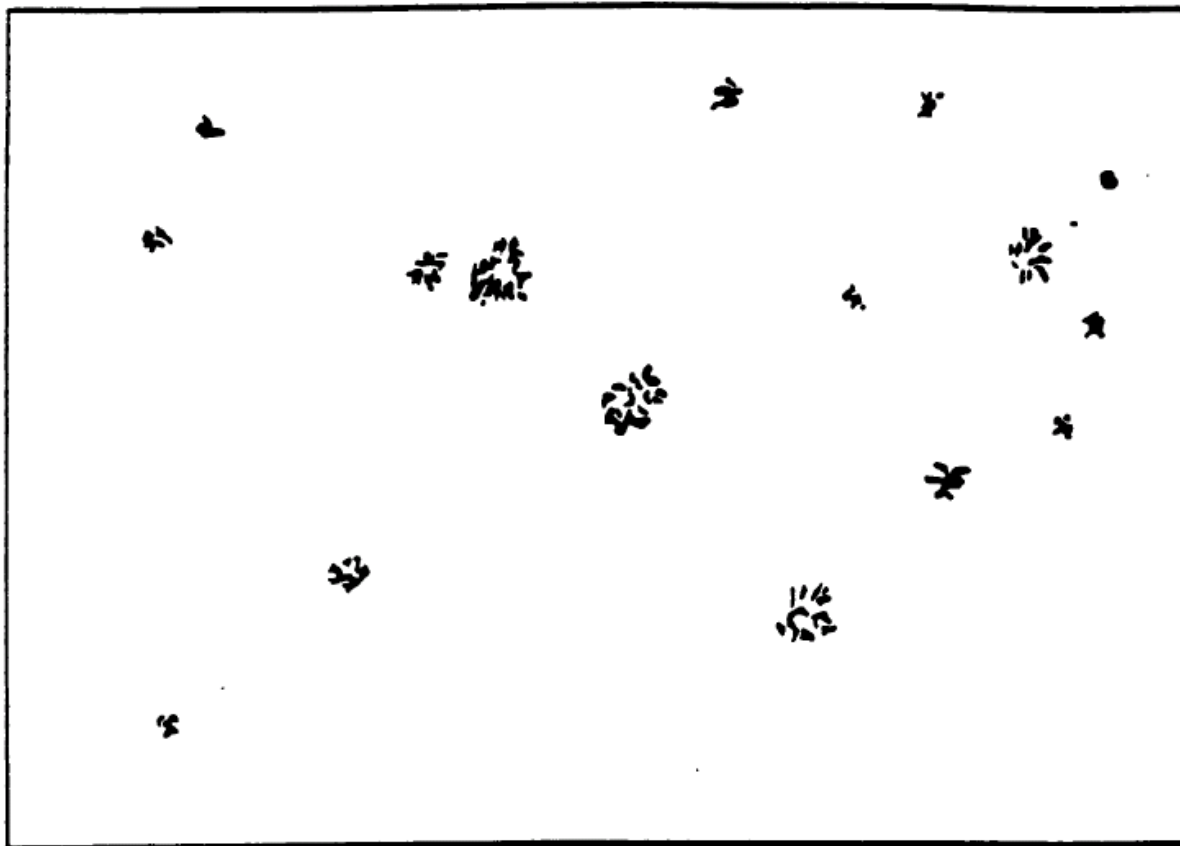


Figura B.4: Nível de severidade SM 4

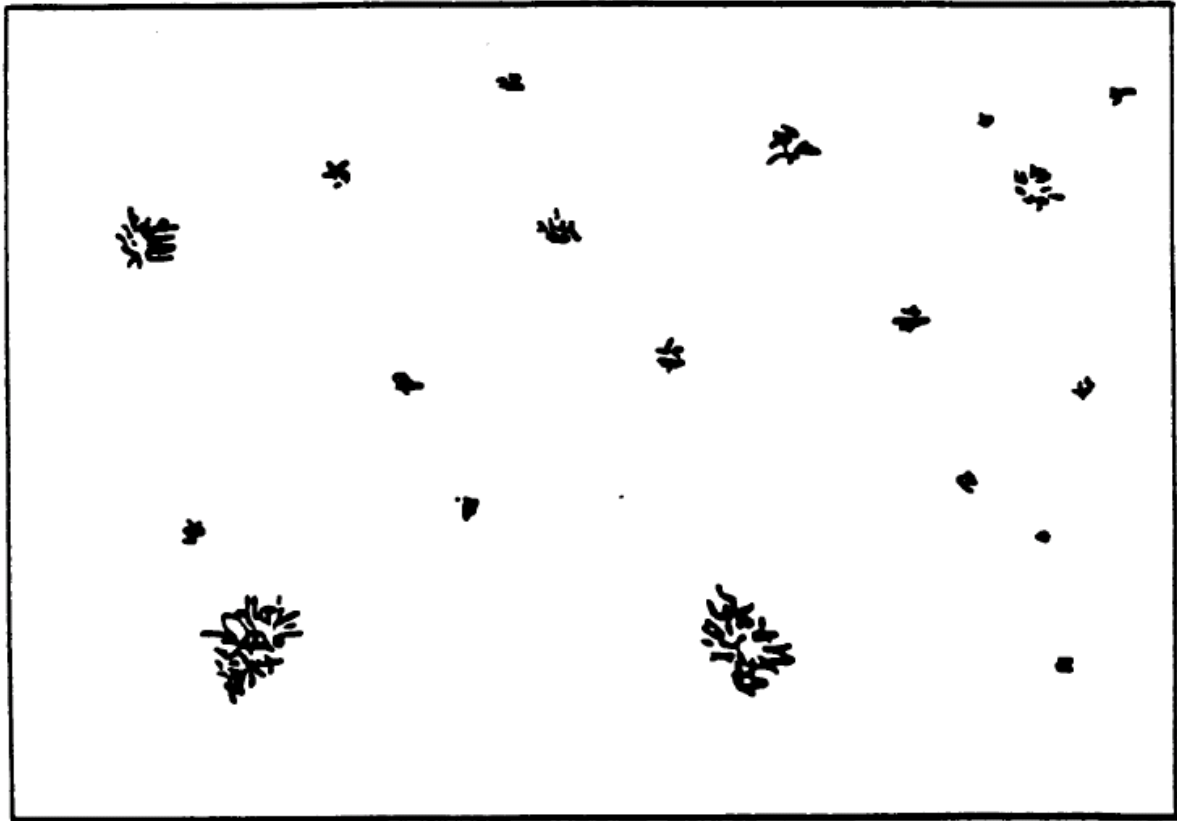


Figura B.5: Nível de severidade SM 5

Anexo C (informativo)

FIGURAS DE REFERÊNCIA - INDICAÇÕES LINEARES E ALINHADAS, LM E AM

OBS: Todas as figuras de referência exibidas neste anexo são para referência somente e são desenhadas e devem ser usadas em uma escala de 1:1.

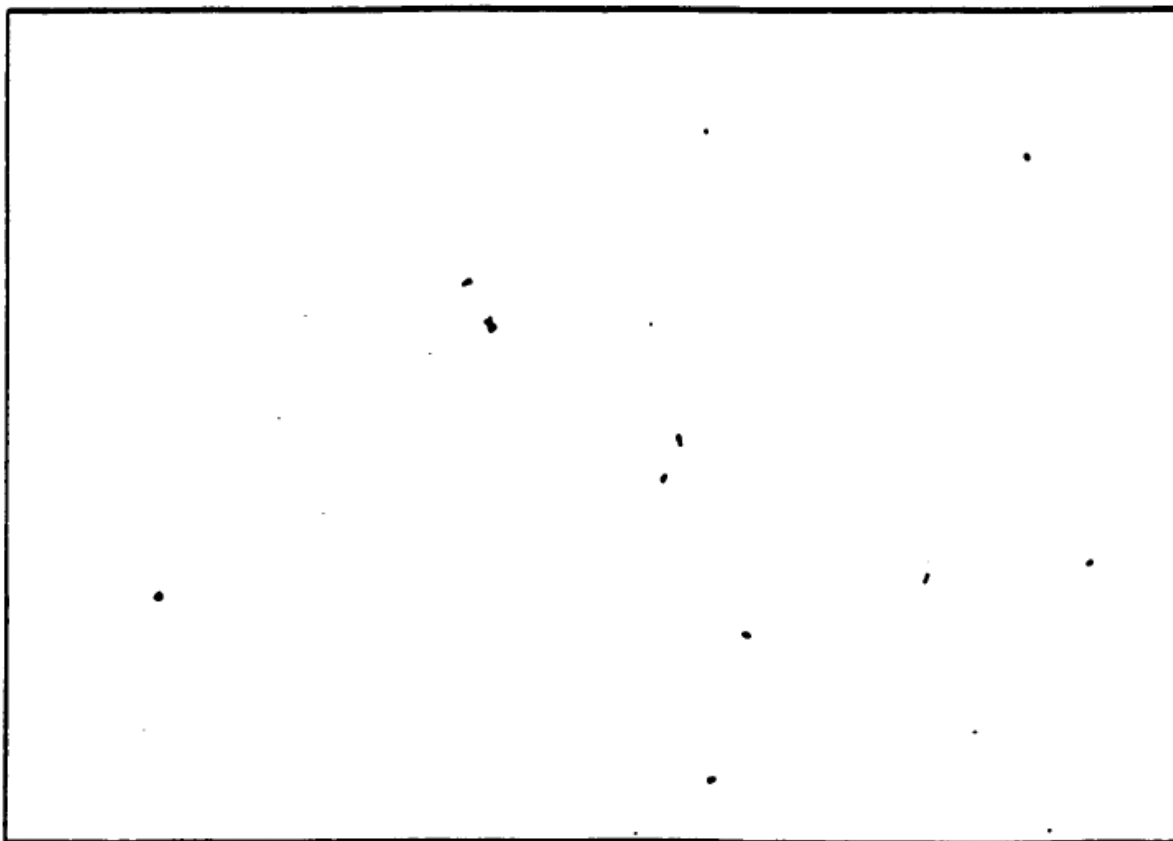


Figura C.1: Nível de severidade LM 1a ou AM 1a

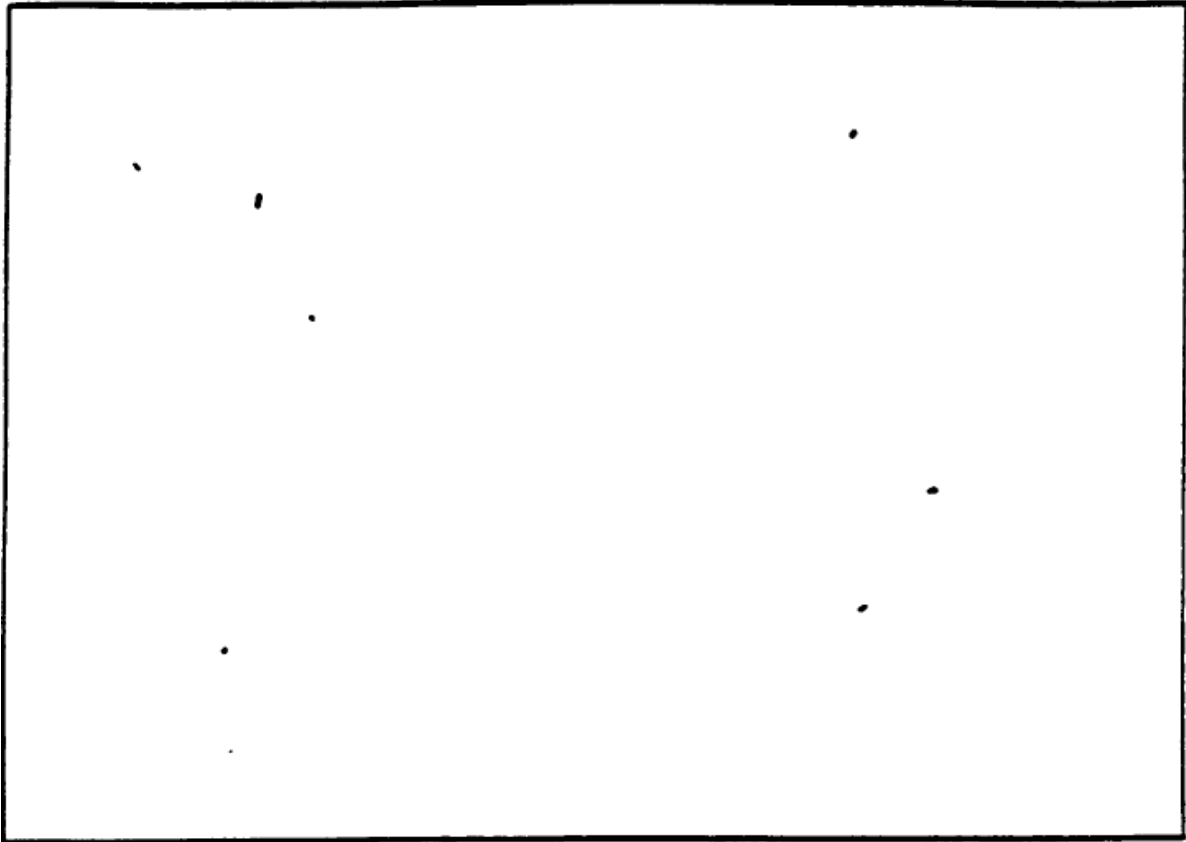


Figura C.2: Nível de severidade LM 1b - AM 1b (LM 2a* – AM 2a*))

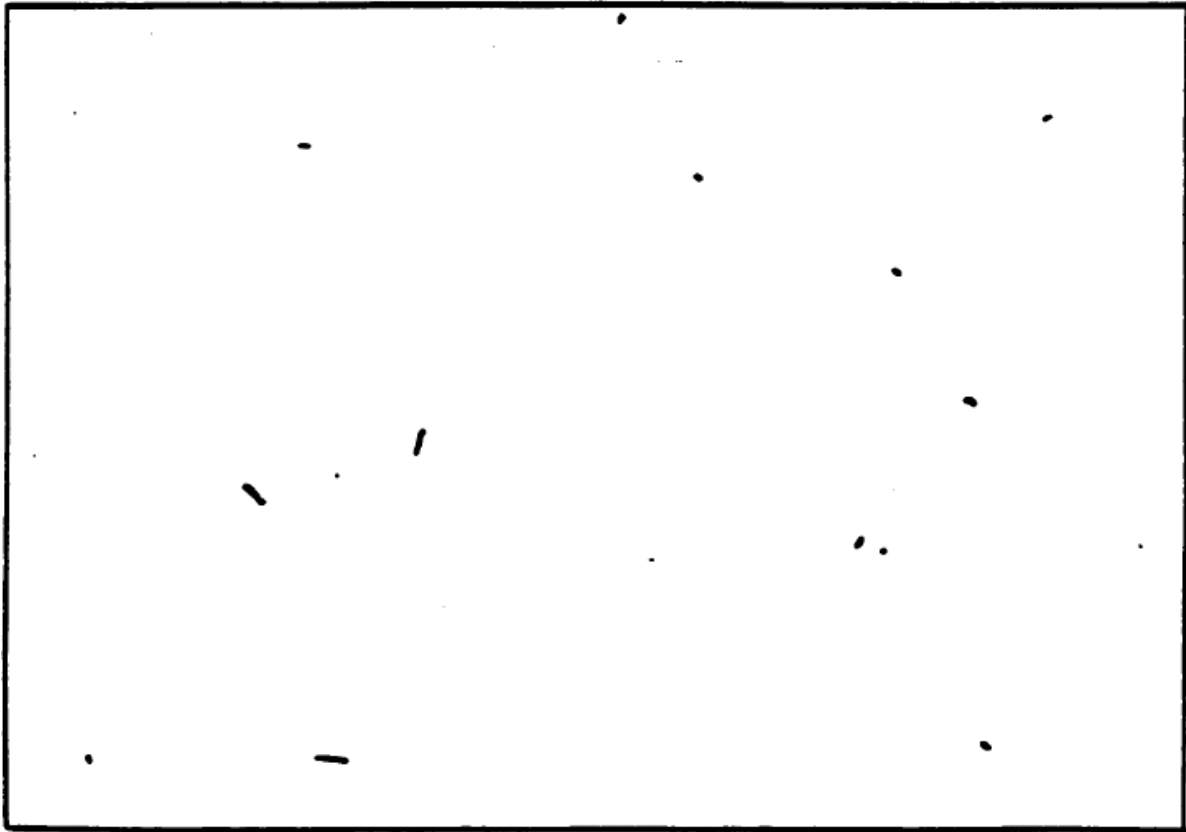


Figura C.3: Nível de severidade LM 1c - AM 1c (LM 2b*) – AM 2b*) ou LM 3a*) – AM 3a*))

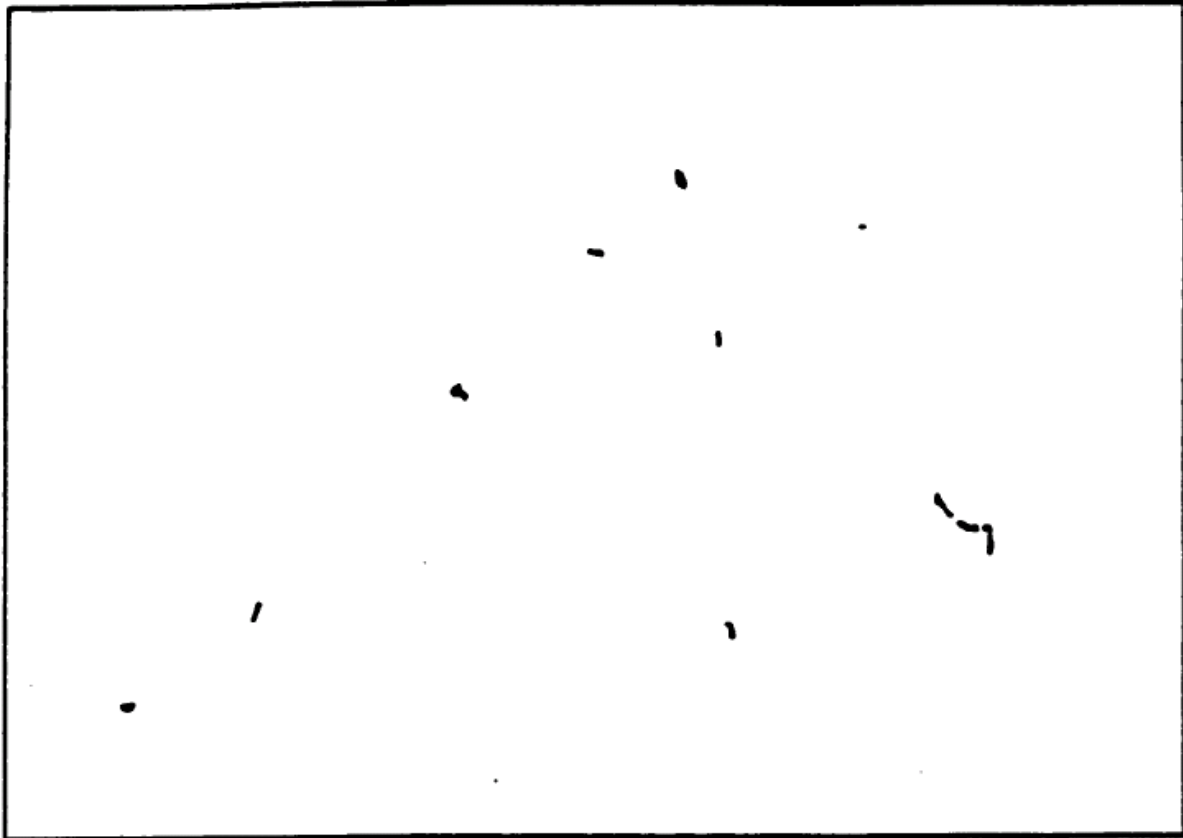


Figura C.4: Nível de severidade LM 2c - AM 2c (LM 3b*) – AM 3b*) ou LM 4a*) – AM 4a*))

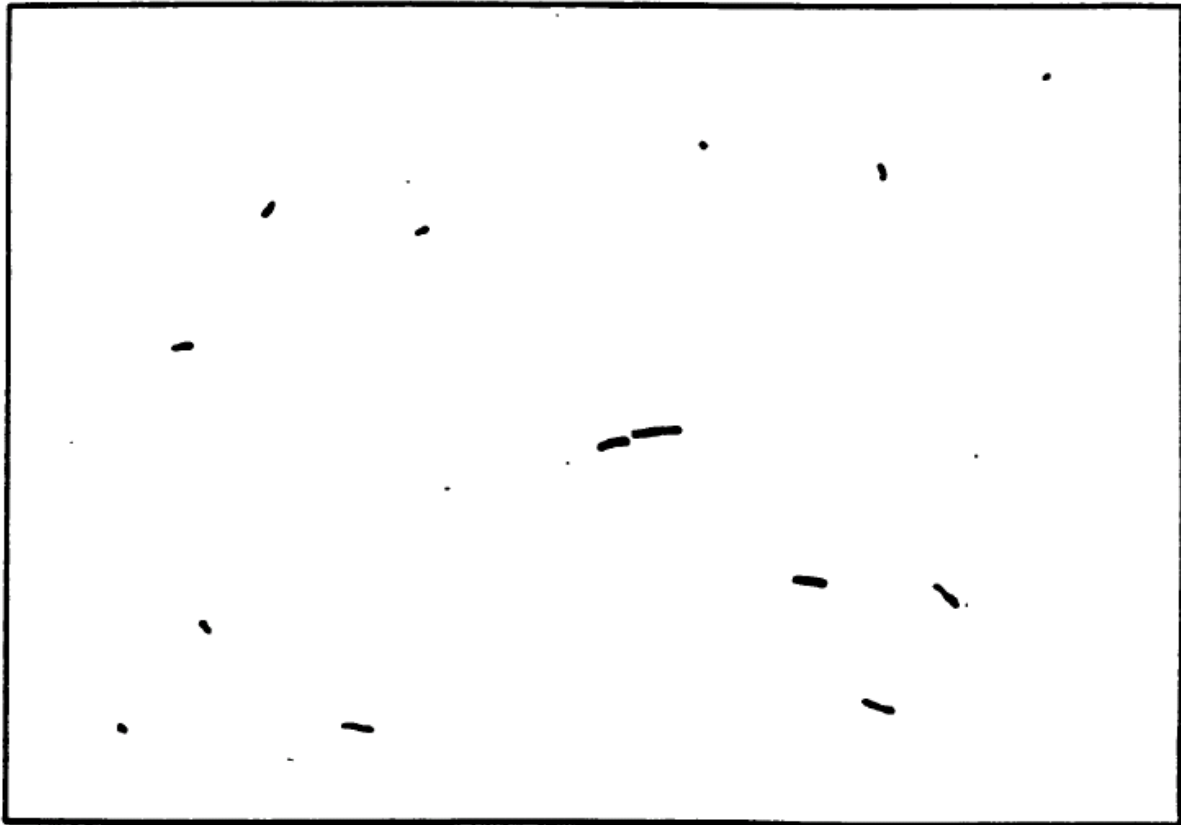


Figura C.5: Nível de severidade LM 3c - AM 3c (LM 4b*) - AM 4b*) ou LM 5a*) - AM 5a*))



Figura C.6: Nível de severidade LM 4c - AM 4c (LM 5b*) – AM 5b*))



Figura C.7: Nível de severidade LM 5c - AM 5c