MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM

DESENVOLVIMENTO DO ARAME GALVANIZADO BWG 18 PARA APLICAÇÃO NA FABRICAÇÃO DE TELAS

Sandro Aurélio Pereira Kalil
Engenheiro Mecânico

Dissertação para obtenção do título de
Mestre em Engenharia, Modalidade Profissional, Especialidade Siderurgia

Porto Alegre
2009

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM

DESENVOLVIMENTO DO ARAME GALVANIZADO BWG 18 PARA APLICAÇÃO NA FABRICAÇÃO DE TELAS

Sandro Aurélio Pereira Kalil
Engenheiro Mecânico

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais - PPGEM, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, Modalidade Profissional, Especialidade Siderurgia.

Porto Alegre
2009

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia, Modalidade Profissional, Especialidade Siderurgia e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador: Prof. Dr. Afonso Reguly

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Afonso Reguly

Prof. Dr. Fabio Domingos Pannoni

Prof. Dr. Alexandre da Silva Rocha

Prof. Dr. Wagner Viana Bielefeld

Prof. Dr. Carlos Pérez Bergmann
Coordenador do PPGEM

Porto Alegre, 20 de outubro de 2009

Dedico este trabalho a minha família fonte
de inspiração que mesmo a distância manteve sempre apoio e incentivo incondicional.

AGRADECIMENTOS

A todos que colaboraram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho, o meu reconhecimento.

Ao professor Dr. Afonso Reguly pelo estímulo, dedicação e esforço pessoal proporcionado.

Aos colegas Marcos Augusto Zilles Mattiello e João Vitor Mokan pelas discussões e colaborações na construção deste trabalho.

Aos Professores do Mestrado Siderúrgico fonte inesgotável de aprendizagem.

Ao Engenheiro Francisco Deppermann Fortes pelo incentivo e orientação quanto a realização do Mestrado Siderúrgico.

Ao Engenheiro Fernando José Dutra Parreira pelo incentivo e orientação durante a execução deste trabalho.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS V
LISTA DE FIGURAS VII
LISTA DE TABELAS X
LISTA DE SÍMBOLOS XI
RESUMO XIII
ABSTRACT XIV
1. INTRODUÇAO 1
2. REVISÃO DA LITERATURA 3
2.1 Aplicação de Arames Trefilados 3
2.2 Processo de Fabricação de Fios e Arames 3
2.2.1 Processo de Aciaria Elétrica 4
2.2.2 Processo de Laminação 5
2.2.3 Processo de Trefilação 6
2.2.4 Decapagem 9
2.2.5 Decapagem Química 9
2.2.6 Decapagem Mecânica 11
2.2.7 Trefilação 13
2.2.8 Processo de Galvanização 16
2.2.9 Detalhando o Processo de Recozimento 24
3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL 36
3.1 Material 36
3.1.1 Composição Química 36
3.1.2 Características Dimensionais e Mecânicas 36
3.1.3 Material Trefilado 37
3.2 Principais Características do Forno de Recozimento (banho de chumbo – Pb) 37
3.3 Recozimento do material 37
3.4 Amostragem 38
3.5 Análise Metalográfica 39
3.6 Ensaio de Tração 39
3.7 Ensaio de Microdureza 40
3.8 Ensaio de Rolamento (Pino) 42
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 44
4.1 Composição Química 44
4.2 Matéria Prima - FM 44
4.3 Material Trefilado 51
4.4 Material (arame) Galvanizado 56
5. CONCLUSÕES 69
6. SUGESTÕES DE NOVOS TRABALHOS 70
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 71
8 ANEXOS 72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Variação estatística do limite de resistência de 712 amostras do arame BWG 18 (1,24 mm) avaliado neste estudo 2
Figura 2.1 Desenho Esquemático do Processo de Fusão do Aço (Refino Primário). Fonte: Gerdau Riograndense 4
Figura 2.2 Desenho Esquemático do Processo de Refino Secundário, Solidificação e..... 5
Figura 2.3 Desenho esquemático do início do Processo de Laminação, em ordem, fornos de 6
Figura 2.4 Desenho Esquemático do Bloco Acabador no Processo de Laminação de Rolos. Bloco, Zona de Resfriamento, Formador de Espiras, Esteira de Resfriamento e Bobinador. Fonte: Gerdau Riograndense 6
Figura 2.5 Figura Fluxo usual de trefilação e possíveis aplicações. 8
Figura 2.6 Estação de remoção de carepa através da imersão em tanques com empredo de ácido sulfúrico - H_2SO_4. Fonte: Gerdau Riograndense. 10
Figura 2.7 Influência da temperatura e concentração de ácido durante a decapagem com H_2SO_4 (ENGHAG, 2003). 11
Figura 2.8 Sistema de Decapagem mecânica com roletes flexionadores, escovas rotativas, lavagem e pré-coaching. Fonte: Gerdau Riograndense 12
Figura 2.9 Visão geral de uma máquina de Trefilação de 9 passes. Fonte: Gerdau Riograndense 13
Figura 2.10 Desenho esquemático da geometria de uma Fieira. Fonte: Gerdau Riograndense. 14
Figura 2.11 Detalhe construtivo de uma fieira com núcleo de metal duro. Fonte: Gerdau Riograndense. 15
Figura 2.12 Microcassete empregado em aço de baixo, médio e alto carbono. Fonte: Eurolls 16
Figura 2.13 Comportamento da Resistência à Tração de Aços Carbono em Função do Percentual de Redução. Fonte: Gerdau Riograndense..... 17
Figura 2.14 Figura mostrando a área de entrada dos arames trefilados em uma linha de galvanização, neste caso com desbobinamento vertical, denominada de Desbobinamento (Pay Off vertical). Fonte: Deacero. 18
Figura 2.15 Forno de Recozimento com Chumbo e aquecimento com gás. Fonte: Gerdau Riograndense. 19
Figura 2.16 Tanque de decapagem Selada com ácido clorídrico (HCl). Fonte: Gerdau Riograndense. 20
Figura 2.17 Cuba de Zn com aquecimento por gás central, a esquerda da imagem estão localizados os queimadores de aquecimento, no centro, a área onde os arames são mergulhados no banho de zinco recoberto por um material isolante térmico. Fonte: Deacero. 21
Figura 2.18 Bobinamento Dead block em estocador (cast e hélix controlados). Fonte: Gerdau Riograndense. 22
Figura 2.19 Figura mostrando a medida do diâmetro do arame com a espira deposita em uma superfície plana na horizontal. Fonte: Heicowiregroup..... 23
Figura 2.20 Figura mostrando a medida do helix que é a distância entre as pontas de arame de uma espira suspensa na posição vertical, como pode ser visualizado acima. Fonte: Heicowiregroup 23
Figura 2.21 Diagrama de Equilíbrio Ferro – Carbono. Fonte: Gerdau Riograndense. 28

Figura 3.1 Máquina de Ensaio de Tração Utilizada para Determinação dos Limites de....40
Figura 3.2 Microdurômetro TUKON – Modelo 300 41
Figura 3.3 Figura mostrando esquema com a direção das identações (quadrados pretos) realizadas na amostra da seção tranversal e longitudinal do fio máquina e dos arames trefilados e galvanizados 42
Figura 3.4 Demonstração do ensaio de enrolamento de um material, ao redor do seu próprio eixo, com o auxílio de uma "chave" apropriada e de uma morsa.....42
Figura 4.1 Microestrutura Transversal do FM 1007 BCOC apresentando uma matriz ferrítica com presença de perlita com tamanho de grão ASTM 8. Ataque Nital 2%. 45
Figura 4.2 Microestrutura Longitudinal do FM 1007 BCOC apresentando uma matriz ferrítica com presença de perlita com tamanho de grão ASTM 8. Ataque Nital 2%. 45
Figura 4.3 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de FM 1007 BCOC 46
Figura 4.4 Microestrutura Transversal do FM 1004 GACO apresentando uma matriz ferrítica com presença de perlita com tamanho de grão ASTM 8. Ataque Nital 2%. 47
Figura 4.5 Microestrutura Longitudinal do FM 1004 GACO apresentando uma matriz ferrítica com presença de perlita com tamanho de grão ASTM 8. Ataque Nital 2%. 47
Figura 4.6 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de FM 1004 GACO.....48
Figura 4.7 Microestrutura Transversal do FM 1408 USB apresentando uma matriz ferrítica com presença de perlita com tamanho de grão ASTM 8. Ataque Nital 2%.....49
Figura 4.8 Microestrutura Longitudinal do FM 1408 USB apresentando uma matriz ferrítica com presença de perlita com tamanho de grão ASTM 8. Ataque Nital 2%. 49
Figura 4.9 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de FM 1408 USB. 50
Figura 4.10 Microestrutura Longitudinal do Arame Trefilado 1007 BCOC apresentando grãos deformados conforme o sentido de trefilação do arame . Ataque Nital 2%. 52
Figura 4.11 Microestrutura Longitudinal do Arame Trefilado 1004 GACO apresentando grãos deformados conforme o sentido de trefilação do arame. Ataque Nital 2%. 52
Figura 4.12 Microestrutura Longitudinal do Arame Trefilado 1408 USB apresentando grãos deformados conforme o sentido de trefilação do arame. Ataque Nital 2%. 53
Figura 4.13 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de arame trefilado 1007 BCOC 53
Figura 4.14 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de arame trefilado 1004 GACO. 54
Figura 4.15 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de arame trefilado 1408 USB 54
Figura 4.16 Microestrutura Longitudinal do arame recozido em banho de chumbo (Pb) na velocidade de 45 m/min - Aço 1007 BCOC. Ataque Nital 2%.....56
Figura 4.17 Microestrutura Longitudinal do arame recozido em banho de chumbo (Pb) na velocidade de 90 m/min - Aço 1007 BCOC. Ataque Nital 2%.....57
Figura 4.18 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de arame galvanizado 1007 BCOC. Velocidade de galvanização do arame de 45 m/min. 58
Figura 4.19 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de arame galvanizado 1007 BCOC. Velocidade de galvanização do arame de 90 m/min. 58

Figura 4.20 Microestrutura Longitudinal do arame recozido em banho de chumbo (Pb) na velocidade de 45 m/min - Aço 1004 GACO. Ataque Nital 2%. 59
Figura 4.21 Microestrutura Longitudinal do arame recozido em banho de chumbo (Pb) na velocidade de 90 m/min - Aço 1004 GACO. Ataque Nital 2%. 60
Figura 4.22 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de arame galvanizado 1004 GACO. Velocidade do fio 45 m/min. 61
Figura 4.23 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de arame galvanizado 1004 GACO. Velocidade do fio 90 m/min. 61
Figura 4.24 Microestrutura Longitudinal do arame recozido em banho de chumbo (Pb) na velocidade de 45 m/min - Aço 1408 USB. Ataque Nital 2%. 62
Figura 4.25 Microestrutura Longitudinal do arame recozido em banho de chumbo (Pb) na velocidade de 90 m/min - Aço 1408 USB. Ataque Nital 2%. 62
Figura 4.26 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de arame galvanizado 1408 USB. Velocidade do fio 45 m/min. 63
Figura 4.27 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de arame galvanizado 1408 USB. Velocidade do fio 90 m/min. 64
Figura 4.28 Ensaio de enrolamento no arame galvanizado 1007 BCOC – Velocidade do fio 45 m/min. 67
Figura 4.29 Cartas de Controle para o limite de resistência em função do tipo de emprego (aço) e velocidade da linha de Galvanização em m/min. 68

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 Principais Aplicações de Arames Trefilados. 3
Tabela 2-2 Processos de Recozimento Comumente Utilizados em Aços. (BROOKS,1996).. 25
Tabela 3-1 Faixa de Tolerância Dimensional e Limite de Resistência do Arame BWG 18 (ABNT, 1982). 37
Tabela 3-2 Origem da matéria-prima avaliada neste trabalho 38
Tabela 3-3 Resumo dos ensaios realizados com as amostras de fio máquina, arame trefilado e arame galvanizado. 43
Tabela 4-1 Composição química dos aços estudados. [% em peso] 44
Tabela 4-2 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro do FM 1007 BCOC. 46
Tabela 4-3 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro do FM 1004 GACO. 48
Tabela 4-4 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro do FM 1408 USB. 50
Tabela 4-5 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro do Arame Trefilado 1007 BCOC. 55
Tabela 4-6 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro do Arame Trefilado 1004 GACO. 55
Tabela 4-7 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro do Arame Trefilado 1408 USB. 56
Tabela 4-8 Relação do limite de resistência médio obtido em função da velocidade de recozimento da linha de galvanização no aço 1007 BCOC. 57
Tabela 4-9 Relação do limite de resistência médio obtido em função da velocidade de recozimento da linha de galvanização no aço 1004 GACO. 60
Tabela 4-10 Relação do limite de resistência médio obtido em função da velocidade de recozimento da linha de galvanização no aço 1408 USB. 63
Tabela 4-11 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro para o Arame Galvanizado 1007 BCOC com V = 90 m/min. 64
Tabela 4-12 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro para o Arame Galvanizado 1408 USB com V = 90 m/min. 65
Tabela 4-13 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro do Arame Galvanizado 1004 GACO com V = 90 m/min. 65
Tabela 4-14 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro do Arame Galvanizado 1007 BCOC com V = 45 m/min. 66
Tabela 4-15 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro do Arame Galvanizado 1408 USB com V = 45 m/min 66
Tabela 4-16 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro do Arame Galvanizado 1004 GACO com V = 45 m/min. 66

LISTA DE SÍMBOLOS

A1 – Temperatura na qual a austenita começa a se formar durante o aquecimento, ou se transforma em cementita e ferrita no resfriamento
A3 – Temperatura na qual a transformação de ferrita em austenita é completa durante o aquecimento, ou começo da formação de ferrita a partir da austenita durante o resfriamento.
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
Acm – Temperatura na qual a dissolução de cementita na austenita é completa durante o aquecimento, ou a austenita começa a se transformar em cementita no resfriamento dos aços hipereutetóides
Ai – Área transversal inicial (antes da matriz)
Af – Área transversal final (após a matriz)
As – Arsênio
ASTM - American Society for Testing and Materials
BWG – Birmingham Wire Gauge – Escala de diâmetros de arames
BCOC – Barão de Cocais
B – Boro
cpK – capabilidade
C – Elemento químico Carbono
Cr – Elemento químico Cromo
Cu – Cobre
DOE – Procedimento experimental
FM – Fio Máquina (matéria prima empregado no processo de trefilação)
FeO – Wustita
Fe_2O_3 – Hematita
Fe_3O_4 – Magnetita
Fe_3C – Cementita – Composto intermetálico de Ferro e Carbono
Fe – Elemento químico Ferro
FeZn – Liga ferro e zinco
GACO – Gerdau Açominas
H_2SO_4 – Ácido sulfúrico
HCl – Ácido clorídrico
H_2O - Água
HV – Hard Vickers
Kgf/mm^2 - Kilograma força por milímetro quadrado
Kg – Kilograma
Lr – Limite de Resistência
LAMEF – Laboratório de Metalurgia Física
LCL – Limite inferior de especificação
Mpa – Mega Pascal
Mo – Molibidênio
Mn – Manganês
m/min – metro por minuto
mm – milímetro
N_2 - nitrogênio
Nb – Nióbio
Ni – Níquel
O_2 – Oxigênio

Pb – Chumbo
P – Fósforo
ppm – parte por milhão
Si – Silício
S – Enxofre
Sn – Estanho
SR – Siderúrgica Riograndense
UCL – Limite superior de especificação
USB – Usiba
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Vi – Velocidade inicial (antes da matriz)
Vf – Velocidade final (após a matriz)
V – Vanádio
WC – Carboneto de tungstênio
W – Tungstênio
Zn – Zinco
α – Ferrita
γ – Austenita
ºC – Grau Celsius
% - unidade de percentual
μm – Mícron

RESUMO

Título: Desenvolvimento do arame galvanizado BWG18 para aplicação na fabricação de telas

O objetivo deste trabalho visa analisar criticamente o processo de fabricação do arame galvanizado, discutindo a influência de variáveis, tais como: composição química do aço, velocidade dos fios na linha de galvanização e temperaturas associadas ao tratamento térmico, garantindo com isto um produto aderente as novas necessidades apresentadas pelo setor da avicultura que emprega o arame galvanizado BWG 18 na confecção de telas. A metodologia adotada envolveu as etapas de revisão da literatura e procedimento experimental D.O.E. (Design of Experiments), com coleta de amostras sob diferentes empregos (matéria prima) e condições operacionais (alteração de velocidades na linha de galvanização) e posterior realização de ensaios e análises de laboratório nas amostras coletas. Na etapa final foi realizado a avaliação e discussão dos resultados obtidos, identificando o produto galvanizado que melhor atende as propriedades mecânicas exigidas na fabricação de telas para o setor de avicultura.

Palavras-chave: Arame, Composição Química, Galvanização, Tratamento Térmico

ABSTRACT

Title: Development of galvanized wire BWG18 for application in the manufacture of wire mesh

The objective of this work aims at critically analyze the process of manufacture of the galvanized wire, arguing the influence of variables, such as: chemical composition of the steel, wire speed in the galvanizing line and temperatures associates to the heat treatment, ensuring with this an adherent product the new necessities presented for the poultry keeping that uses galvanized wire BWG 18 in the manufacturing of wire mesh. The adopted methodology involved the stages of revision of literature and experimental procedure D.O.E. (Design of Experiments), with acquisition of samples under different jobs (raw material) and operational conditions (alteration of speeds in the galvanizing line) and later accomplishment of assays and analyses of laboratory in the samples collections. In the final stage it was carried through the evaluation and quarrel of the acquired results, identifying the galvanized product that better takes care of the demanded mechanical properties in the manufacture of wire mesh for the poultry keeping sector.

Key words: Wire, Chemical composition, Galvanizing, thermal treatment

1. INTRODUÇÃO

Analisando-se o cenário atual referente à aplicação de produtos oriundos de processos siderúrgicos, observa-se um forte crescimento da demanda, acompanhado do aumento da qualidade intrínseca exigida para todos os produtos. Soma-se a isto a constante busca de competitividade por parte do setor industrial com esforços focados na redução de custo, aumento de produtividade e eliminação de retrabalhos (sustentabilidade do negócio).

De acordo com este cenários, torna-se indispensável uma constante busca por equipamentos de alto desempenho com um aumento na produção e um menor emprego de recursos, quer sejam pessoas, insumos ou matéria prima.

O tipo de aplicação do produto irá determinar a sua rota de fabricação e conseqüentemente etapas de transformação e tratamentos térmicos necessários. Este é um ponto que deve ser fortemente estudado nos processos oriundos de trefilação, visto que existe forte influência do trabalho mecânico sobre as propriedades estruturais e mecânicas do material.

Como iremos tratar da aplicação de arames galvanizados (linha commodities) cabe salientar que a grande aplicação se faz na linha de aços de baixo carbono, sendo que os mesmos sofrem o processo de recozimento em uma das etapas anteriores a galvanização. Deve-se entender por recozimento o tratamento térmico de aquecimento e manutenção a determinada temperatura, seguido de resfriamento em uma taxa que garanta diminuição da dureza, bem como na resistência do material.

O grande desafio vigente busca atender a qualidade exigida do produto conforme sua aplicação e ao mesmo tempo otimizar o ciclo de produção (inclui-se tratamentos térmicos) garantindo um aumento na produção e conseqüente redução de custos associados a este processo.

O presente trabalho visa entender e atender as necessidades oriundas do setor de avicultura que emprega o arame galvanizado (praticamente 100% no dimensional de 1,24 mm) na confecção de telas. Este segmento tem sofrido uma forte atualização tecnológica migrando máquinas manuais para automáticas, que além de maior velocidade empregam mais de um fio

(arame) ao mesmo tempo, sendo cada vez maior a necessidade de um material que além do atendimento de norma, apresente uma menor variação de propriedades mecânicas.

A análise estatística apresentada na figura 1.1 indica a variação no limite de resistência para amostras do arame estudado. Como pode ser observado o produto atualmente produzido mostra um baixo cpK (centralização do processo entre os limites de controle) onde fica evidente uma grande variabilidade e parte da curva normal acima do limite superior específicado para esta aplicação. Este trabalho visa avaliar as causas desta variabilidade de modo a fornecer subsídios para escolha da matéria prima correta para sua diminuição.

Durante este trabalho, variáveis como composição química do aço, velocidade dos fios na linha de galvanização e temperaturas associadas ao tratamento térmico serão avaliadas na busca de um melhor controle das propriedades mecânicas para este produtos e conseqüente satisfação do cliente final e setor produtivo envolvido.

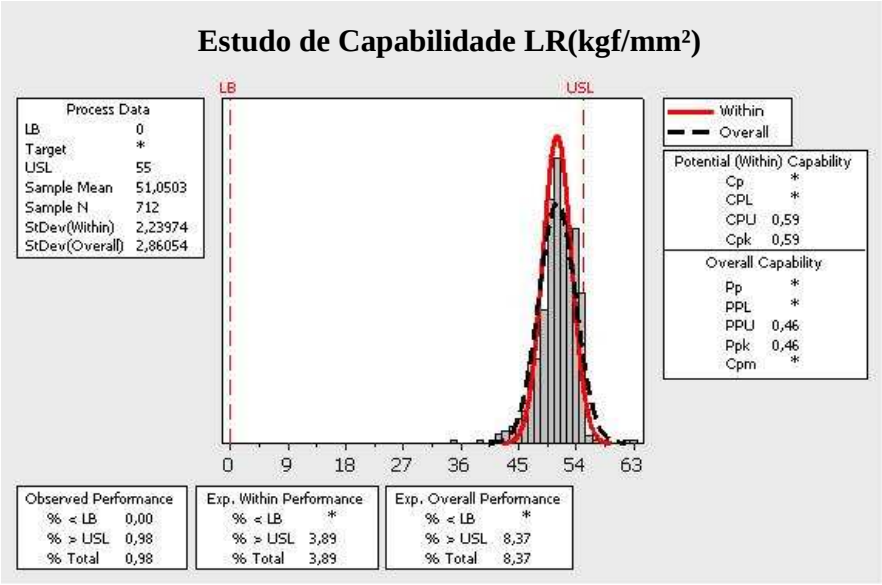


Figura 1.1 Variação estatística do limite de resistência de 712 amostras do arame BWG 18 (1,24 mm) avaliado neste estudo

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Aplicação de Arames Trefilados

A tabela 2-1 apresenta as principais aplicações comerciais de arames trefilados de acordo com sua composição química e estado (CHIAVERINI, 2002).

Tabela 2-1 Principais Aplicações de Arames Trefilados.

Tipo de Aço	**Porcentagem de Carbono**	**Estado**	**Aplicações Comerciais mais Importantes**
Baixo Carbono	0,08 a 0,20%	Sem Tratamento Térmico (No Estado Encruado)	Eletrodos de solda, pregos, pinos e peças conformadas a partir de arames. Resistência à tração variável de 50 a 100 kgf/mm² (490 a 980 MPa)
		Recozido ou Normalizado	Arames lisos e farpados, arames para telas, parafusos, rebites, etc.
Médio Carbono	0,20 a 0,50%	Recozido	Parafusos (posteriormente temperados e revenidos)
		Patenteado e Trefilado	Cabos, molas de pequena responsabilidade, etc.
Alto Carbono	0,60 a 1,00%	Sem Tratamento Térmico	Eletrodos de solda, arruelas de pressão (posteriormente temperadas e revenidas), etc.
		Patenteado e Trefilado	Fio (ou corda) de piano (ou de música), cabos para serviços pesados, tirantes, e outras aplicações estruturais de responsabilidade, molas, etc.

2.2 Processo de Fabricação de Fios e Arames

A descrição que será feita tem por base um processo siderúrgico oriundo de uma Usina Semi-Integrada.

2.2.1 Processo de Aciaria Elétrica

A matéria prima principal empregada nos fornos de aciaria elétrica é a sucata ferrosa. A adição ao conversor ou forno elétrico a arco de fusão se dará após a preparação da mesma. São estas as etapas do processo de preparação da sucata ferrosa: prensamento, corte e trituração. Dada a preparação tem-se o processo de fusão e "refino primário" conforme Figura 2.1.

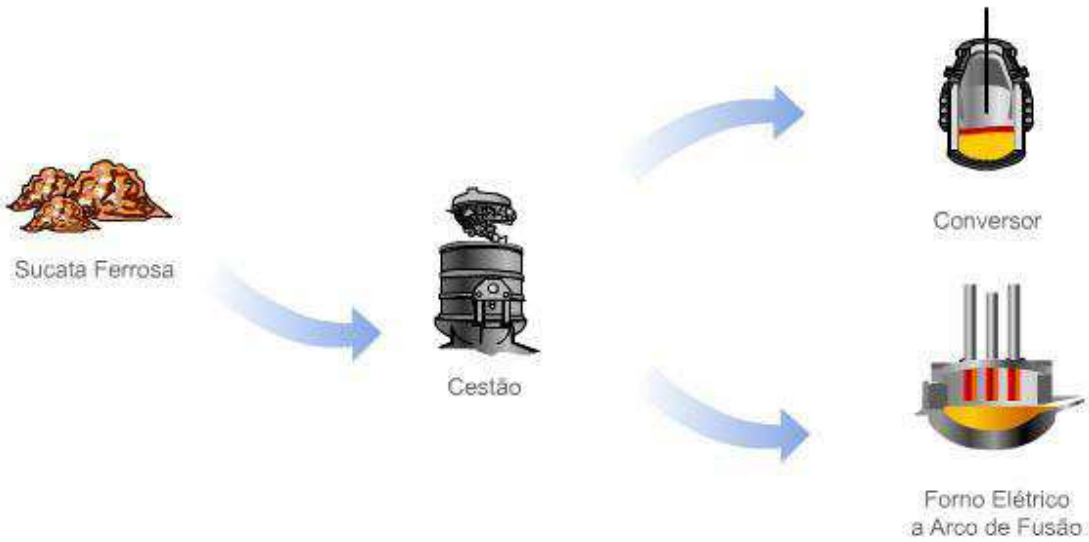


Figura 2.1 Desenho Esquemático do Processo de Fusão do Aço (Refino Primário). Fonte: Gerdau Riograndense

Após concluído o primeiro refino transfere-se o aço líquido para uma segunda etapa onde se dará o refino secundário no forno panela conforme Figura 2.2. Nesta etapa ocorre a correção da composição química, bem como o vazamento em um distribuidor e conseqüente veio onde ocorre a solidificação do aço transformando-se em tarugos (matéria prima para o processo de laminação). Após esta etapa do processo os tarugos seguem para laminação onde são transformados, por conformação mecânica, em diferentes produtos.

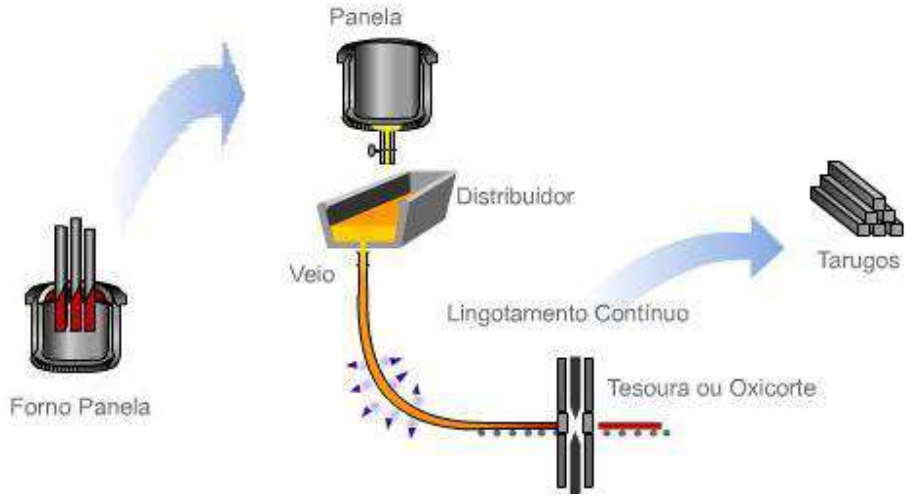


Figura 2.2 Desenho Esquemático do Processo de Refino Secundário, Solidificação e Corte de Tarugos de Aço. Fonte: Gerdau Riograndense.

2.2.2 Processo de Laminação

A laminação é um processo de conformação mecânica que tem como objetivo a redução de secção de blocos ou barras, o aumento dos comprimentos e a melhoria das propriedades dos materiais (SCHAEFFER, 1999). A matéria prima empregada na laminação é proveniente da aciaria, sob forma de lingotes (aço vazado em lingoteiras) ou tarugos (proveniente de lingotamento contínuo).

As etapas do processo de laminação compreendem um reaquecimento do tarugo a temperaturas entre 1000 e 1200 °C e seguido de sucessivas reduções a partir das gaiolas de desbaste, trem intermediário e gaiolas acabadoras conforme figura 2.3, onde busca-se atingir a forma do produto final e sua respectiva tolerância dimensional, podendo ser rolos ou barras (GERDAU, 2006).

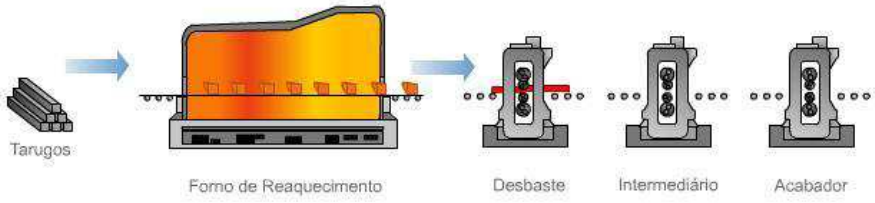


Figura 2.3 Desenho esquemático do início do Processo de Laminação, em ordem, fornos de reaquecimento, gaiolas de desbaste, gaiolas intermediárias e acabador. Fonte: Gerdau Riograndense

No caso da laminação de rolos, o bloco recebe e lamina o tarugo vindo diretamente das gaiolas do intermediário, o material passa por uma zona de resfriamento e após pelo formador de espiras, durante o transporte na esteira sofre um segundo resfriamento e é, então, bobinado na forma do produto laminado conhecido como Fio Máquina conforme figura 2.4.

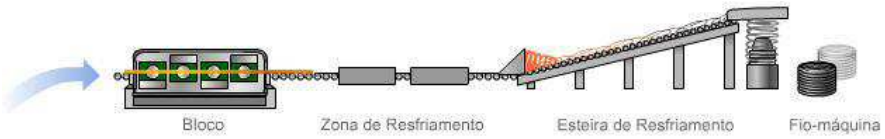


Figura 2.4 Desenho Esquemático do Bloco Acabador no Processo de Laminação de Rolos. Bloco, Zona de Resfriamento, Formador de Espiras, Esteira de Resfriamento e Bobinador. Fonte: Gerdau Riograndense

2.2.3 Processo de Trefilação

A trefilação caracteriza-se por um processo de conformação mecânica a frio que ocorre pelo tracionamento de um fio, barra ou tubo através de uma matriz (GERDS, 1966). A passagem através da matriz gera uma redução em área e conseqüente aumento no comprimento o que garante a relação:

$$Vi*Ai = Vf*Af$$

Vi – velocidade inicial (antes da matriz)

Ai – área transversal inicial (antes da matriz)

Vf – velocidade final (após a matriz)

Af – área transversal final (após a matriz)

Trata-se portanto de um processo mecânico que confere ao material precisão dimensional e melhores propriedades mecânicas (DIETER, 1981).

A figura 2.5 apresenta de forma esquemática o fluxo usual de trefilação bem como aplicações possíveis para seus produtos.

Como o processo de trefilação é responsável pela matéria prima do processo de galvanização, objeto do estudo, é importante fazer um maior detalhamento do mesmo, considerando os seguintes pontos:

Decapagem Química

Decapagem Mecânica

Trefilação com fieira

Trefilação com microcassetes (laminador a frio)

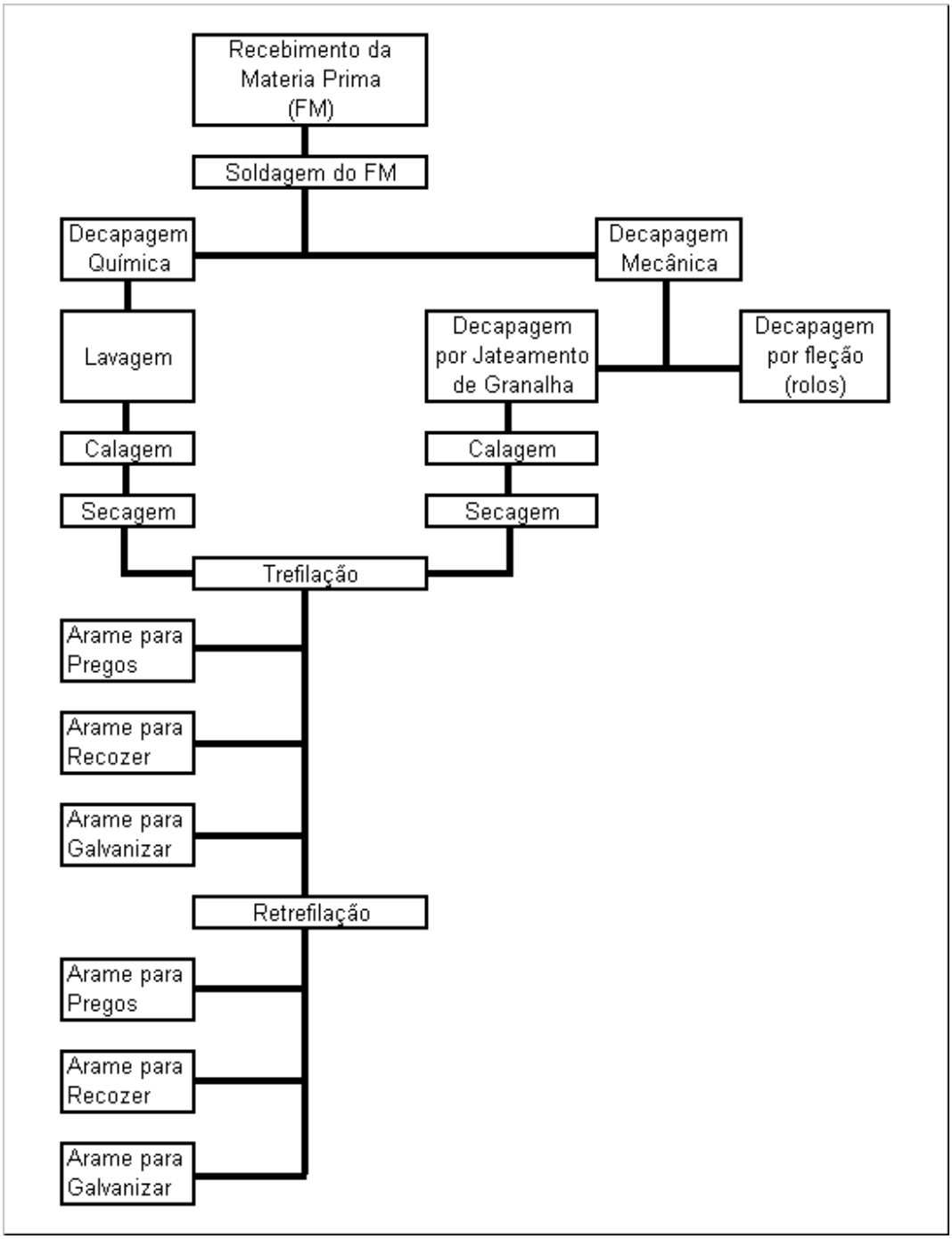


Figura 2.5 Figura Fluxo usual de trefilação e possíveis aplicações.

2.2.4 Decapagem

O processo de fabricação do Fio-Máquina (FM) que é a matéria prima empregada no processo de trefilação produz na superfície do FM uma camada de óxido o qual chama-se de carepa. Esta carepa tem elevada dureza, bem como fragilidade. Conforme temperaturas de laminação e tipos de refrigeração observa-se alterações na morfologia desta carepa, conforme tipos de óxidos formados: hematita, wüstita e magnetita.

Para que o processo de trefilação possa ser realizado sem desgaste acentuado da fieira ou microcassete, bem como comprometimento da qualidade, é extremamente necessário a remoção de 100% ou muito próximo disto desta carepa. Soma-se a esta carepa o tipo e tempo de exposição do FM durante a estocagem entre processo (quanto maior o tempo, bem como falta de proteção do estoque, maior será o grau de oxidação do arame).

A remoção desta carepa pode ocorrer de várias formas, desde dispositivos mecânicos simples até estações de remoção de carepa totalmente automatizadas através de alguns ácidos (ex.: sulfúrico H_2SO_4 ou ácido clorídrico HCl).

2.2.5 Decapagem Química

O detalhamento a seguir compreende o processo de retirada da carepa pelo ácido sulfúrico - H_2SO_4. O processo de retirada do óxido ocorre através do gás hidrogênio, oriundo do ácido sulfúrico que penetra nas trincas existentes na carepa e ataca a wustita que é solúvel no ácido. A carepa é expelida através da formação de bolhas deste gás. Após atacar a wustita, será a vez da hematita e conseqüentemente magnetita (orientação de fora para dentro). Deve-se observar algumas variáveis críticas neste processo, como segue: concentração do ácido, temperatura e teor de ferro do banho. O processo consiste na imersão da bobina de FM por determinado tempo no tanque com ácido e durante este processo é feito o monitoramento de forma visual conforme figura 2.6.

Figura 2.6 Estação de remoção de carepa através da imersão em tanques com emprego de ácido sulfúrico - H_2SO_4. Fonte: Gerdau Riograndense.

A eficiência e a velocidade da decapagem química dependerão do quanto as espiras do FM estarão “acessíveis” ao ácido, ou seja, elas devem estar sendo expostas de maneira homogênea ao mesmo e não coladas umas nas outras dentro da bobina. A temperatura e concentração de ácido, conforme pode-se ver na figura 2.7, são variáveis importantes para uma decapagem mais rápida e eficaz. O tempo de decapagem depende ainda do tipo de carepa presente no FM e não somente da espessura. Um alto teor de FeO e baixo de Fe_3O_4 , por exemplo, é o ideal para a decapagem e pode ser formada através de um resfriamento controlado na laminação. Porém, não há regra exata para definir tais percentuais ideais e a experiência prática de cada laminador deverá ser considerada (ENGHAG, 2003).

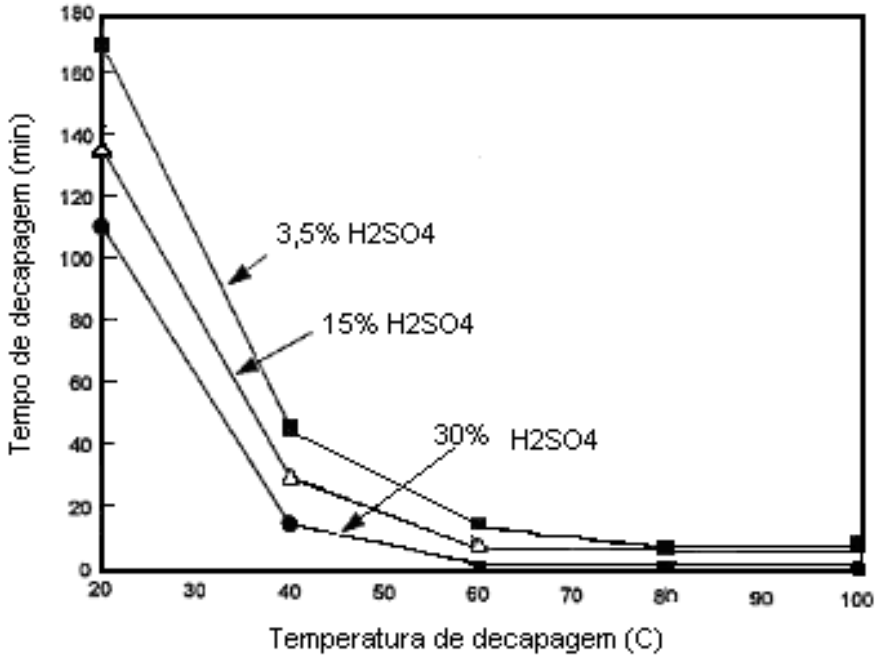


Figura 2.7 Influência da temperatura e concentração de ácido durante a decapagem com H_2SO_4 (ENGHAG, 2003).

Após removido a carepa, deve-se evitar que o ácido em contato com o material descoberto (sem carepa) venha a oxidar-se, portanto segue ao banho de ácido, lavagem (sprays e tanques com H_2O), tanques com cal e por fim estufa de secagem. Embora a elevada eficiência do processo de decapagem química seu emprego tem sido direcionado para materiais que necessitem um superfície totalmente isenta de carepa, principalmente no uso final. Isto ocorre devido ao custo deste processo que além dos insumos empregados (agente decapador, água e cal) tem elevado custo na disposição destes materiais após seu emprego (passivo ambiental). A decapagem química portanto, tem sido substituída por processos mecânicos de remoção de carepa, denominados decapagem mecânica.

2.2.6 Decapagem Mecânica

Durante anos, a decapagem mecânica vem sendo estudada e avaliada. Alguns dos muitos métodos existentes foram esquecidos e não tiveram êxito, porém outros foram aceitos e estão sendo usados pelas plantas de trefilação (DOVE, 1979). Podemos destacar alguns tipos:

a) Decapagem por jato de granalha ou decapagem tosca;

b) Decapagem por flexão alternada, através de roletes;

c) Decapagem por flexão mais utilização de escovas, lavagem, precoating e estufa

d) Decapagem por flexão mais emprego de lixas, precoating e estufa

A descrição a seguir, refere-se ao sistema de remoção de carepa por decapagem mecânica completo conforme figura 2.8, ou seja, remoção da carepa através de roletes flexionadores, remoção de finos através de escovas, lavagem de resíduos, adição de precoating favorecendo a lubrificação na trefilação.

Figura 2.8 Sistema de Decapagem mecânica com roletes flexionadores, escovas rotativas, lavagem e precoating. Fonte: Gerdau Riograndense .

A primeira etapa do decapador chama-se rolos flexionadores onde o FM sofrerá dobramentos em todos os seus planos quebrando e removendo a carepa mais grosseira. Após a remoção da carepa grosseira ocorrerá a remoção de finos (carepa fina) através de pares de escovas rotativas em diferentes planos. A limpeza da superfície do FM ainda contará com a lavagem do arame e uma imersão do arame em um pequeno tanque com lubrificante com

objetivo de melhorar a eficiência da lubrificação nos passes de trefila. Após temos o arame preparado (pronto) para o processo seguinte de trefilação.

2.2.7 Trefilação

O processo de trefilação consiste em tracionar um material através de uma matriz de dimensão conhecida e controlada (Button, 2001).

A matéria-prima empregada na trefilação de arames de aço é o Fio-Máquina (bobinas de laminado com peso aproximado de 2000 kg. O dimensional de Fio-Máquina mais empregado na trefilação é o 5,5 mm que antes de ser trefilado, passará por um processo de decapagem química ou mecânica. O processo de trefilação ocorrerá em uma máquina de trefila (normalmente multi-passes) conforme figura 2.9 onde o número de reduções será função do diâmetro de entrada e de saída. Cada máquina possui uma seqüência de reduções conhecidas como passes de trefilação. Em cada passe, o material sofrerá uma redução de área, até que no último passe lhe será conferido a bitola final. Não se recomenda uma redução de área, entre um passe e o outro, maior do que 30%, devendo a mesma ser decrescente conforme maior grau de encruamento do material. Segundo (Wright, 2002), o percentual máximo de redução recomendado pela American Wire Gage é de 20,7%, porém na prática se utiliza 30 a 35% dependendo da condição do processo.

Figura 2.9 Visão geral de uma máquina de Trefilação de 9 passes. Fonte: Gerdau Riograndense

A redução de área pode dar-se por dois processo distintos, ou seja, através de uma matriz denominada fieira que é usualmente constituída de uma carcaça metálica com núcleo de metal duro, conforme pode ser visto na figura 2.10. Este núcleo, de dimensão controlada, é quem dará a forma do produto naquele passe. No momento em que a fieira não consegue mais manter o dimensional inicial projetado, devido ao desgaste natural do processo, ela deverá ser substituída por outra de mesma característica dimensional anterior.

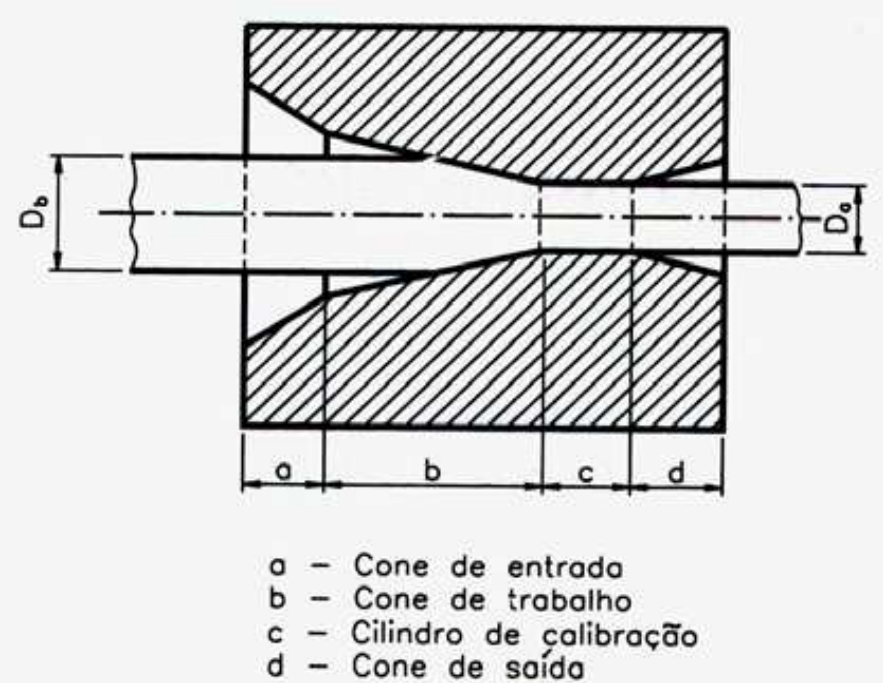


Figura 2.10 Desenho esquemático da geometria de uma Fieira. Fonte: Gerdau Riograndense.

O material da fieira depende das exigências do processo (dimensões, esforços) e do material a ser trefilado. Os materiais mais utilizados são:

- Carbonetos sinterizados (sobretudo WC);
- Metal duro;
- Aços de alto C revestidos de Cr (cromo duro) ;
- Aços especiais (Cr-Ni, Cr-Mo, Cr-W, etc.) ;
- Ferro fundido branco;
- Cerâmicos (pós de óxidos metálicos sinterizados);
- Diamante (p/ fios finos ou de ligas duras);

A Figura 2.11 mostra, de forma esquemática, o detalhe construtivo de uma fieira de núcleo de metal duro.

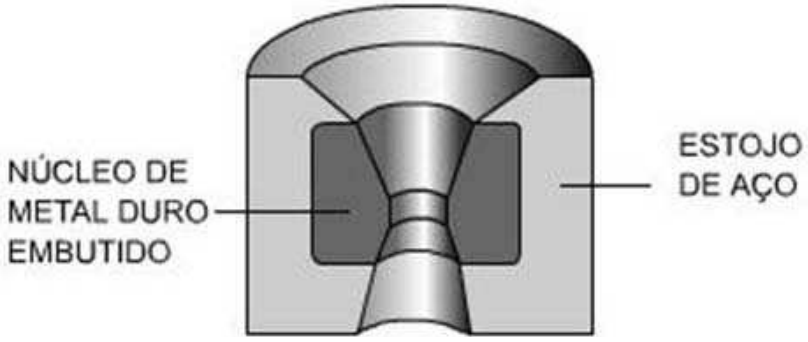


Figura 2.11 Detalhe construtivo de uma fieira com núcleo de metal duro. Fonte: Gerdau Riograndense.

Como a fieira é cônica, existe uma relação entre o ângulo de entrada e de saída, ou seja, o ângulo de entrada é geralmente maior que o ângulo de trefilação para permitir que haja lubrificação de forma a facilitar a passagem do material pela fieira.

Hillery & McCabe (1995) concluem em seus experimentos que fieiras elaboradas a partir de metal duro foram as que se comportaram de maneira mais satisfatória para todas as temperaturas testadas, que variaram desde a temperatura ambiente até 800 ˚C.

Nos últimos anos a tecnologia de redução de área através de fieiras vem perdendo espaço para os microcassetes. A figura 2.12 apresenta um modelo deste tipo de equipamento.

O uso dos mesmos se justifica pelo ganho em desempenho tanto em tempo de vida útil devido ao pouco desgaste já que o atrito é muito menor devido a rolagem dos rolos do cassete, bem como a menor incidência de defeitos no material trefilado. Seu emprego ainda fica limitado para máquinas abaixo de 30 m/s devido a dificuldade de refrigeração dos rolos.

Figura 2.12 Microcassete empregado em aço de baixo, médio e alto carbono. Fonte: Eurolls

Delimitando nosso estudo, restringiremos as variáveis de trefilação ao uso de decapagem mecânica completa (rolos flexionadores, escovas, lavagem e pré-coaching), bem como ao processo de trefilação (reduções) empregando apenas fieiras.

2.2.8 Processo de Galvanização

O processo de galvanização caracteriza-se basicamente pela imersão do arame por determinado tempo em uma cuba de Zn a temperatura de trabalho na faixa de 450˚C, este é uma característica crítica de nosso estudo visto que a mesma irá determinar o tempo mínimo e máximo de velocidade dos fios ao longo de uma linha de galvanização.

Como o arame durante o processo de trefilação sofre um aumento de sua resistência mecânica e redução de sua ductilidade devido ao processo de encruamento, observa-se um aumento de dureza, resistência e uma redução do alongamento.

Tal efeito se deve ao aumento da densidade de discordâncias e das distorções na rede cristalina dos grãos que formam o material, ocasionada pela aplicação de tensões externas (DIETER, 1981).

A figura 2.13 apresenta uma relação entre o aumento da resistência que é função da redução da secção e diferentes faixas de carbono do aço:

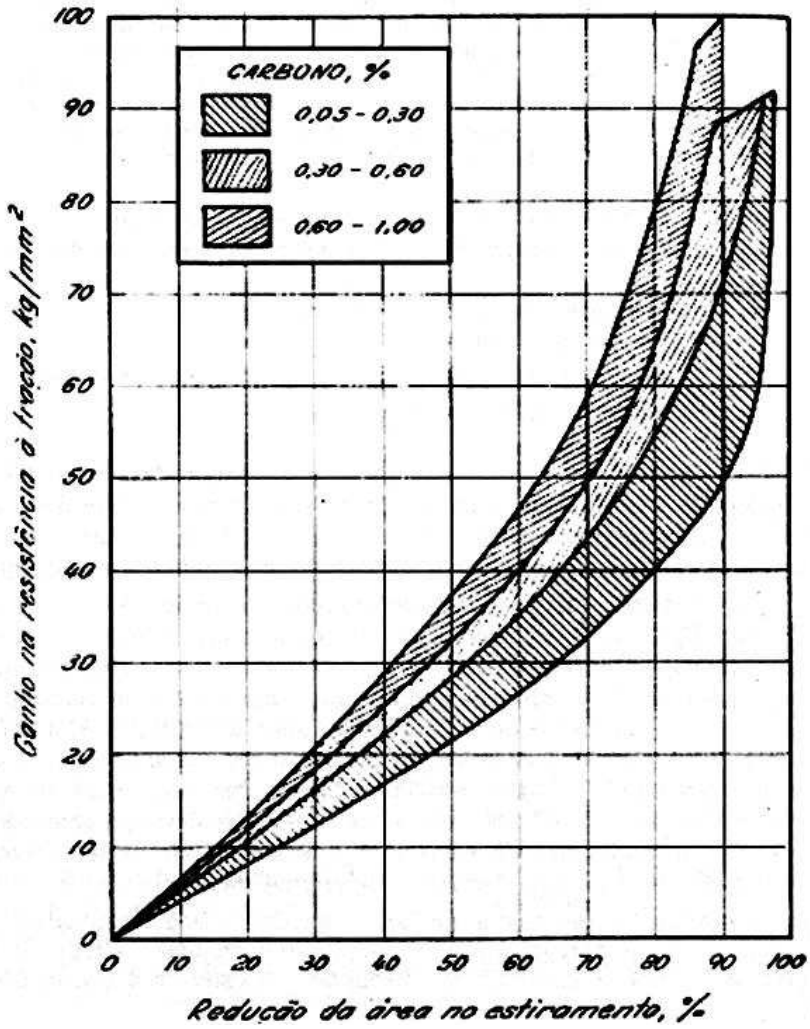


Figura 2.13 Comportamento da Resistência à Tração de Aços Carbono em Função do Percentual de Redução. Fonte: Gerdau Riograndense.

Feito esta análise inicial é de sua importância conhecermos sinteticamente o processo de galvanização conforme segue:

1º - Preparação

2º - Recozimento

3º - Decapagem

4º - Galvanização (deposição de Zn)

5º - Bobinamento

Processo de Preparação

Refere-se ao processo de retirada do arame trefilado de seu carretel (figura 2.14) ou estocador conforme processo de trefila. Nesta etapa não ocorre tratamento térmico e sim a tração do fio que é puxado pela ponta ligada ao bobinamento da linha.

Figura 2.14 Figura mostrando a área de entrada dos arames trefilados em uma linha de galvanização, neste caso com desbobinamento vertical, denominada de Desbobinamento (Pay Off vertical). Fonte: Deacero.

Processo de Recozimento

Devido a necessidade de redução de dureza, uma quantidade grande de arames empregado na indústria de telas passa por um processo de tratamento térmico. Nesta etapa do processo o arame é imerso em banhos de pré-aquecimento (normalmente a temperaturas em torno de 450ºC) que tem por finalidade além de elevar a temperatura inicial do material para a etapa seguinte, fazer a limpeza superficial dos resíduos de cálcio e sódio oriundo do emprego de lubrificante (sabão) no processo de trefilação ou laminação a frio. Após este pré-aquecimento o arame passa por uma segunda imersão em banho de chumbo (Pb) com temperatura na faixa de 720ºC garantindo assim suas propriedades mecânicas após o recozimento. A figura 2.15 apresenta uma visão geral deste tipo de equipamento. O comprimento total, temperatura e velocidade na qual os arames são recozidos pode variar conforme o processo produtivo de cada instalação.

Figura 2.15 Forno de Recozimento com Chumbo e aquecimento com gás. Fonte: Gerdau Riograndense.

Processo de Decapagem

Após o processo de recozimento o arame adquire uma película superficial de óxidos nominada comumente como carepa. A mesma, que é função da temperatura do tratamento térmico associada a uma atmosfera com a presença de O_2, deverá ser removida antes do processo de deposição de Zn sobre o mesmo. Para isto faz-se uso de alguns tanques contendo ácido sulfúrico ou clorídrico selados e com sistema de exaustão adequado figura 2.16.

Figura 2.16 Tanque de decapagem Selada com ácido clorídrico (HCl). Fonte: Gerdau Riograndense.

Processo de Galvanização (deposição de Zn)

Após preparação adequada o arame esta pronto para o processo de deposição de Zn. A finalidade deste processo é garantir uma camada apropriada para mitigar os efeitos da oxidação sobre a base do arame aumentando com isso sua vida útil em serviço. Embora existam várias maneiras de garantir esta deposição de Zn sobre o material, no processo de galvanização convencional a mesma se dará pela imersão por determinado tempo dos arames em uma cuba de Zn líquido a 450ºC conforme figura 2.17. Com isto, teremos um processo em linha, contínuo e com alta produtividade. A velocidade é um fator preponderante na definição desta camada, determinando uma menor ou maior espessura. O tipo de camada formada apresenta variações a medida que nos afastamos do metal-base, sendo a camada mais próxima ao metal-base uma liga de FeZn e a medida que se afasta temos praticamente Zn.

Figura 2.17 Cuba de Zn com aquecimento por gás central, a esquerda da imagem estão localizados os queimadores de aquecimento, no centro, a área onde os arames são mergulhados no banho de zinco recoberto por um material isolante térmico denominado Vermiculita. Fonte: Deacero.

Processo de Bobinamento

Embora não tenhamos nesta etapa do processo tratamento térmico ou deposição de algum material protetivo, a formatação final do arame deve ser considerada um fator crítico na agregação de valor percebido pelo cliente. Para isto, busca-se cada vez mais equipamentos que garantam uma qualidade adequada na formação da espira (regulagem de cast e hélix), bem como formatação de um maior rolo otimizando o módulo de vendas conforme figura 2.18.

Figura 2.18 Bobinamento Dead block em estocador (cast e hélix controlados). Fonte: Gerdau Riograndense.

Na figura 2.19 pode ser visualizada como medir o *cast* de uma espira de arame, ou seja, o diâmetro formado por uma espira depositada em uma superfície plana na horizontal. A figura 2.20 mostra como medir o helix, que é a distância entre as duas extremidades de arame observada em uma espira suspensa na posição vertical.

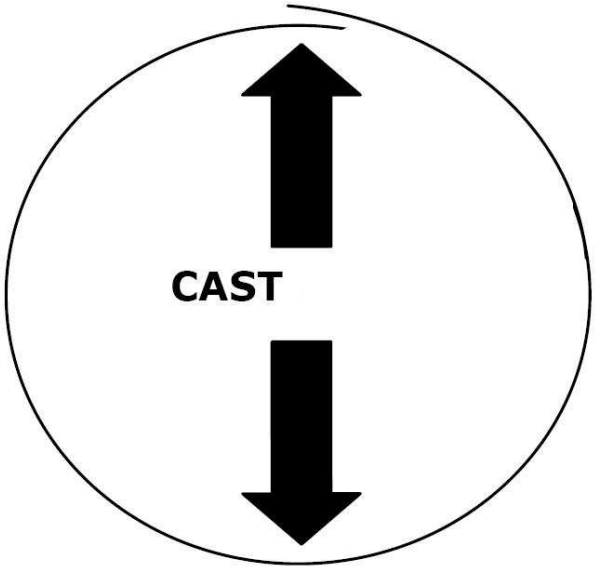


Figura 2.19 Figura mostrando a medida do diâmetro do arame com a espira depositada em uma superfície plana na horizontal. Fonte: Heicowiregroup

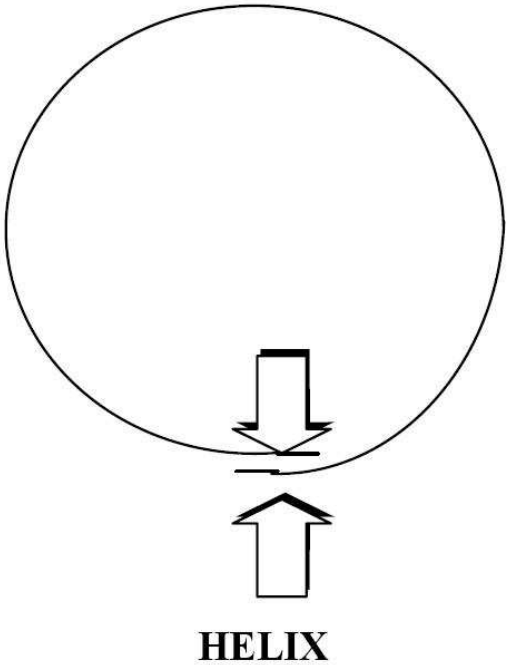


Figura 2.20 Figura mostrando a medida do *helix* que é a distância entre as pontas de arame de uma espira suspensa na posição vertical, como pode ser visualizado acima. Fonte: Heicowiregroup

Como temos por objetivo de nosso estudo a especificação adequada de um produto que atenda tanto a questão normativa que refere a um Limite de Resistência máximo, bem como redução da variabilidade traduzindo em um arame com propriedades mecânicas mais homogêneas daremos ênfase no tratamento térmico, fruto de nosso experimento.

2.2.9 Detalhando o Processo de Recozimento

Devido as aplicações do arame galvanizado, dureza e ductilidade devem ser controlados através de tratamento térmico. Neste caso estamos diante de um ponto crítico no processo de fabricação de arames, visto que as consecutivas reduções de secção se dão através de trefilação e/ou laminação a frio e conseqüentemente devido ao encruamento, tem-se aumentos tanto de dureza como resistência. Acima de um certo grau de encruamento o trabalho mecânico do arame fica comprometido devido à perda de ductilidade sendo então necessária a aplicação de um tratamento térmico (BROOKS, 1996). Conforme as propriedades mecânicas desejadas na aplicação dos arames, existem diversos tratamentos térmicos que recuperam os efeitos de aumento de resistência e perda da ductilidade. O recozimento pode ser considerado como um tratamento térmico com o objetivo de diminuir a dureza de um metal ou liga, sendo aplicável aos aços carbono (BANERJEE,1980). O termo recozimento, pode ser classificado como um termo genérico onde o material em estudo é submetido (aquecido) a uma determinada temperatura, mantendo-se por algum tempo seguindo de um processo controlado de resfriamento, tendo-se como objetivo primário a diminuição da dureza e resistência do material (BROOKS, 1996). Como existem diferentes tipos de recozimento, sua escolha deve propiciar uma combinação adequada das propriedades mecânicas com gastos mínimos de recurso empregado, logo. deve-se considerar o equipamento utilizado, o método e a condição do material necessária após o tratamento (BROOKS, 1996). Os processos mais comuns de recozimento estão listados na tabela 2.2.

Tabela 2-2 Processos de Recozimento Comumente Utilizados em Aços. (BROOKS,1996)

- Recozimento de material trabalhado a frio Também chamado de recozimento de recristalização Aquecimento abaixo da temperatura eutetóide (A1)
- Recozimento para alívio de tensões Utilizado para reduzir tensões residuais Aquecimento abaixo da temperatura eutetóide (A1)
- Recozimento de esferoidização Utilizado para melhorar a conformabilidade e usinabilidade Pode requerer várias horas de aquecimento abaixo da temperatura eutetóide (A1), ou ciclos um pouco acima e abaixo da temperatura eutetóide
Recozimento Completo Utilizado para produzir materiais de baixa dureza Aquecimento acima da transformação austenítica e resfriamento lento, isto é, no interior do forno Recozimento em caixa (recozimento completo em recipiente especial fechado)

Recozimento de material trabalhado a frio

Quando um metal ou liga é deformado plasticamente um aumento de tensão acompanha esta deformação. Este fenômeno é conhecido como endurecimento por deformação ou encruamento. A deformação plástica introduz defeitos de rede e aumenta a energia livre associada ao material devido ao aumento da região de contornos de grãos, tornando-o termodinamicamente instável. Sendo assim, o material aceita mudanças estruturais no sentido de diminuir sua energia (PORTER, 1992). Para isto ocorrer em um tempo praticável (algumas horas) na maioria dos metais e ligas, é necessário um aquecimento do material acima da temperatura ambiente. A dureza diminui de acordo com a temperatura e com o tempo que o material é mantido em aquecimento, podendo atingir valores similares àqueles anteriores ao trabalho a frio. O recozimento é uma das formas comuns de trabalho que produz tal diminuição na dureza de materiais trabalhados a frio. No trabalho a frio do material, as microestruturas geralmente se caracterizam por grãos equiaxiais de mesmo tamanho antes da deformação e grãos alongados no sentido de conformação após serem submetidas ao trabalho de deformação. Ainda, nesta última microestrutura, estrias conhecidas como bandas de deformação começam a aparecer nos grãos associadas com a formação dos defeitos de rede. Iniciado o recozimento, ocorrem pequenas transformações microestruturais caracterizadas pela redução de energia interna do material, através do rearranjo das discordâncias, conhecidas como estágio de recuperação que produz regiões livres de tensões de deformação. Estas são visíveis em microscópios óticos e caracterizadas por uma queda na

dureza do material (BROOKS, 1996). Em seguida, pequenos grãos equiaxiais nucleiam nas regiões de maior energia do material trabalhado a frio (em geral, contornos de grãos) no fenômeno chamado de recristalização. Neste estágio um decréscimo na energia interna do material se dá pela remoção das discordâncias remanescentes da recuperação, através do crescimento difusivo das regiões livres de deformação através das interfaces entre os novos grãos e a matriz deformada. A recristalização significa surgimento de uma microestrutura totalmente nova, com o surgimento de novos grãos. Desta forma, o encruamento é totalmente removido e a resistência mecânica pode retornar ao valor que o material apresenta antes da deformação.

Em função do tempo de recozimento, estes pequenos grãos crescem consumindo a matriz do material encruado até o ponto em que a recristalização é completa. Neste ponto a estrutura encruada do material trabalhado a frio é inteiramente consumida e a única alteração subseqüente é o crescimento dos grãos formados que diminui a energia total associada a contornos de grão (PORTER, 1992).

Recozimento para alívio de tensões

Neste tipo de recozimento o tempo e temperatura utilizados variam bastante dependendo do metal ou liga, da magnitude da deformação e da aplicação a qual o material se destina. Em geral, o processo ocorre em temperaturas mais baixas do que as utilizadas nos outros tipos de recozimento.

Recozimento de esferoidização

Este tipo de recozimento é utilizado para melhorar a conformabilidade e usinabilidade dos aços. Geralmente, a estrutura dos carbonetos é coalescida numa estrutura ferrítica, podendo apresentar diferentes distribuições e crescimento dos carbonetos em função do tempo e temperatura de recozimento. O processo forma uma estrutura de carbonetos esferoidizados a partir do reaquecimento do material até a temperatura de esferoidização, que se situa abaixo da temperatura de transformação austenítica, e manutenção por um tempo relativamente longo nesta condição. No entanto, uma estrutura esferoidizada pode se desenvolver a partir da

austenita se o metal for resfriado suficientemente devagar, ou se ele for isotermicamente transformado e mantido na temperatura por tempos suficientemente longos (recozimento isotérmico). Em outros processos, a esferoidização é acelerada pela oscilação em torno da temperatura de transformação austenítica (BROOKS, 1996).

Recozimento Completo

Aquecer o material até a região austenítica (para teores de carbono menores que 0,8%) ou até a região das duas fases, austenita e Fe_3C (para teores de carbono maiores que 0,8%) e resfriá-lo lentamente até a temperatura ambiente é o tratamento térmico mais comumente associado ao termo recozimento, mais especificamente classificado como recozimento completo. A taxa de resfriamento não é especificada, mas lentamente significa levar várias horas para o material atingir a temperatura ambiente, ou até mesmo dias. Em alguns casos, o material é tratado em recipiente fechado (recozimento em caixa) no qual é aquecido e resfriado lentamente.

Ciclos de Recozimento

Na prática, uma variedade quase infinita de ciclos térmicos específicos é utilizada para atingir vários resultados de recozimento. Estes ciclos se encaixam em diversas categorias que são classificadas de acordo com a temperatura até a qual o aço é aquecido e o método de resfriamento utilizado (KRAUSS, 1989).

A temperatura máxima deve estar abaixo da temperatura crítica inferior A1 (recozimento subcrítico); acima de A1, mas abaixo da temperatura crítica superior A3 em aços hipoeutetóides, ou acima em aços hipereutetóides (recozimento intercrítico); ou acima de A3 (recozimento completo) conforme figura 2.21.

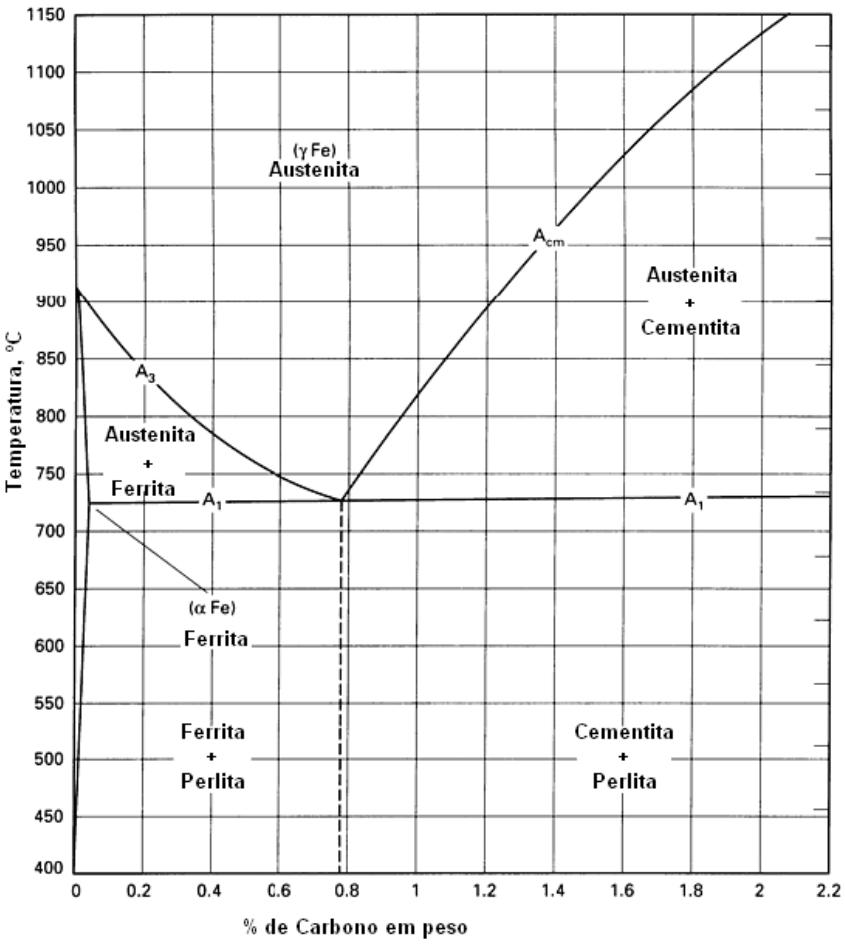


Figura 2.21 Diagrama de Equilíbrio Ferro – Carbono. Fonte: Gerdau Riograndense.

Pelo fato de existir alguma austenita presente em temperatura acima de A1, as práticas de resfriamento durante a transformação são um fator crucial para alcançar a microestrutura e as propriedades desejadas. Sendo assim, aços aquecidos acima de A1 são submetidos também a resfriamentos contínuos lentos ou a tratamentos isotérmicos em alguma temperatura abaixo de A1 na qual a transformação para a microestrutura desejada pode ocorrer em uma quantidade razoável de tempo.

Sob certas circunstâncias, dois ou mais ciclos podem ser combinados ou utilizados sucessivamente para alcançar os resultados desejados. O sucesso de qualquer operação de recozimento depende da escolha apropriada do controle do ciclo térmico, baseada nos princípios metalúrgicos (KRAUSS, 1990). Outro fator importante a ser considerado é a variação nas temperaturas de transformação em função da composição química do material.

As equações para o cálculo das temperaturas reais de transformação (ANDREWS, 1965), considerando os elementos de liga presentes nos aços, são apresentadas a seguir:

A1 (°C)= 723 – 10,7Mn + 29,1 Si + 16,9Cr – 16,9Ni + 290As + 6,38W

A3 (°C)= 910 - 203 *C* + 447Si – 15,2 Ni +31,5Mo +104V 13,1 W

Onde A1 e A3 são as temperaturas de início da transformação austenítica e de completa transformação austenítica, respectivamente.

Recozimento subcrítico

O recozimento subcrítico não envolve a formação de austenita. A condição prévia do aço é modificada pelos processos termicamente ativados como recuperação, recristalização, crescimento de grão e coalescência de carbonetos. Portanto, o histórico do metal antes do tratamento é um fator importante.

Em aços hipoeutetóides laminados ou forjados contendo ferrita e perlita, o recozimento subcrítico pode ajustar a dureza de ambos constituintes, mas tempos excessivamente longos na temperatura podem ser necessários para obter-se um amolecimento substancial.

O tratamento subcrítico é mais efetivo quando aplicado em aços endurecidos por trabalho a frio, ao quais recristalizam rapidamente para formar novos grãos de ferrita. A taxa de amolecimento aumenta rapidamente conforme a temperatura se aproxima de A1. O resfriamento a partir da temperatura de recozimento tem um efeito muito pequeno na microestrutura estabelecida e nas propriedades resultantes.

Recozimento intercrítico

A austenita começa a se formar quando a temperatura do aço ultrapassa A1. A solubilidade do carbono aumenta abruptamente (aproximadamente quinze vezes) próxima da temperatura A1.

Em aços hipoeutetóides, a estrutura do equilíbrio na faixa intercrítica entre A1 e A3 consiste de ferrita e austenita, e acima de A3 a estrutura torna-se completamente austenítica.

No entanto, a mistura de ferrita e austenita do equilíbrio não é alcançada instantaneamente. Carbonetos não dissolvidos podem persistir, especialmente se o tempo de austenitização é curto e a temperatura é próxima de A1, fazendo com que a austenita não seja homogênea. Em aços hipereutetóides a austenita e os carbonetos coexistem na faixa de recozimento intercrítica entre A1 e Acm; e a homogeneidade da austenita depende do tempo e da temperatura.

O grau de homogeneidade na estrutura na temperatura de austenitização é uma importante consideração no desenvolvimento de estruturas recozidas e suas propriedades.

Estruturas mais homogêneas, alcançadas em temperaturas mais altas, tendem a formar estruturas de carbonetos lamelares no resfriamento, enquanto temperaturas mais baixas de austenitização resultam em austenita menos homogênea e tendem a formar carbonetos esferoidais.

A austenita formada quando o aço é aquecido acima da temperatura A1 se transforma novamente em ferrita e carbonetos quando o aço é resfriado lentamente abaixo de A1. A taxa de decomposição da austenita e a tendência dos carbonetos serem esferoidais ou lamelares dependem muito da temperatura de transformação. Se a austenita se transforma logo acima de A1, ela se decompõe lentamente, então o produto pode conter carbonetos esferoidais relativamente coalescidos ou perlita lamelar coalescida, dependendo da composição do aço e da temperatura de austenitização. O resultado neste produto tende a apresentar baixa dureza.

Entretanto, a baixa taxa de transformação na temperatura logo acima de A1 necessita de tempos de permanência altos em regime isotérmico, ou baixas taxas de resfriamento em resfriamentos contínuos, caso a dureza mínima seja desejada.

Tratamentos isotérmicos são mais eficientes do que baixas taxas de resfriamento contínuo no sentido de alcançar as estruturas e durezas em termos de tempo. Entretanto, muitas vezes o equipamento disponível e as características das peças ou produtos de aço a recozer podem fazer do resfriamento contínuo a única alternativa aplicável.

À medida que a temperatura diminui, a austenita geralmente se decompõe mais rapidamente e o produto da transformação é mais duro, mais lamelar, e menos coalescido que o produto formado logo abaixo de A1.

Na prática, se o aço é resfriado rapidamente a partir da temperatura intercrítica o resultado é a transformação da austenita em martensita (têmpera) e estrutura final consiste de ilhas de martensita numa matriz ferrítica. Dependendo da quantidade de austenita e das condições de resfriamento, a austenita pode não se apresentar completamente transformada e a microestrutura apresenta regiões com martensita e austenita retida na matriz ferrítica.

Após a transformação completa da austenita, poucas conseqüências metalúrgicas podem ocorrer no resfriamento até a temperatura ambiente. Resfriamentos extremamente lentos podem ocasionar aglomeração de carbonetos e, conseqüentemente, uma diminuição adicional de dureza, porém um recozimento tão lento é menos efetivo do que altas temperaturas de transformação. Sendo assim, não existem razões metalúrgicas para se aplicar taxas baixas de resfriamento depois que a transformação austenítica for completa e o aço pode ser resfriado tão rápido quanto possível para minimizar o tempo total requerido para a operação de recozimento.

Se a transformação através de resfriamento contínuo lento foi utilizada, a temperatura na qual o resfriamento pode deixar de ser controlado depende das características de transformação do aço. No entanto, a massa de aço da peça ou produto e a necessidade de evitar oxidação são considerações práticas que podem requerer que o resfriamento seja controlado em temperaturas abaixo daquela em que se encerra a transformação austenítica.

Recozimento Supercrítico ou Pleno

Uma prática comum de recozimento é aquecer aços hipoeutetóides acima da temperatura crítica (A3) para obter-se austenitização completa. Este processo é chamado de recozimento pleno.

Em aços hipoeutetóides (abaixo de 0,77% de Carbono), o recozimento supercrítico ocorre na região austenítica, ou seja, o aço é totalmente austenítico na temperatura de recozimento. Em aços hipereutetóides, no entanto, o recozimento ocorre acima da temperatura A1, na qual estão presentes as regiões de duas fases (austenita e cementita).

Tempo de austenitização

Aços hipereutetóides podem atingir valores mais baixos de dureza se mantidos por longos períodos na temperatura de austenitização. Embora o tempo na temperatura de austenitização tenha apenas um razoável efeito na dureza, seu efeito nas propriedades de usinabilidade ou forjamento pode ser bastante apreciável.

Longos tempos de austenitização são efetivos em aços hipereutetóides porque provocam a esferoidização de carbonetos residuais na austenita. Assim, carbonetos mais coalescidos produzem um produto final menos duro.

Em aços com menor teor de carbono, os carbonetos são instáveis nas temperaturas acima de A1 e tendem a dissolver-se na austenita, mesmo que lentamente.

Aços que tem sua composição com teores de carbono aproximadamente eutetóide geralmente sofrem uma transformação lamelar se austenitizados por longos períodos de tempo.

A permanência por longos períodos de tempo em temperaturas acima de A1 pode ser tão efetiva na dissolução de carbono e dissipação de seus gradientes de concentração quanto a rápida permanência em uma temperatura mais alta (KRAUSS, 1990).

Efeito da estrutura do material antes do recozimento

Quanto mais finos e distribuídos estiverem os carbonetos no material, mais rápida é a taxa com que a austenita formada acima de A1 se aproxima da homogeneidade completa. Por isso, a estrutura prévia pode afetar a resposta do material ao tratamento de recozimento.

Quando carbonetos esféricos são desejados na estrutura recozida, o pré-aquecimento a temperaturas logo abaixo de A1 pode ser utilizado para aglomerar os carbonetos existentes no objetivo de aumentar sua resistência à solubilização na austenita no aquecimento subseqüente. A presença de carbonetos não dissolvidos ou gradientes de concentração na austenita promove a formação da estrutura esferoidal quando a austenita é transformada, preferencialmente à estrutura lamelar. O pré-aquecimento é aplicável principalmente em aços hipoeutetóides, mas também é útil para alguns aços hipereutetóides de baixa liga (KRAUSS, 1990).

Recozimento de arames

Uma quantidade significante da produção de arames é submetida a tratamentos térmicos para diminuir sua dureza, ou para preparar o material para outros processos de conformação. Em aços baixo carbono (até 0,20%), o recozimento subcrítico de ciclo curto é geralmente suficiente para estas finalidades.

Em recozimento em banhos, é comum a utilização de um aquecimento inicial para diminuir o gradiente térmico da carga durante o subseqüente aquecimento até a temperatura de trabalho. Este aquecimento inicial pode promover a esferoidização dos carbonetos no aço, levando a uma maior resistência à dissolução dos mesmos quando na temperatura austenítica.

O conhecimento da distribuição da temperatura no interior do forno e da carga pode ser um fator determinante para alcançar uma resposta consistente no recozimento. Portanto, os transdutores, geralmente termopares, devem ser posicionados estrategicamente no interior dos fornos para se obter o correto monitoramento da temperatura nas diversas zonas dos fornos e dos materiais. O controle da temperatura em banhos e em arames de maior secção é mais crítico do que em fornos contínuos.

Outro fator bastante considerável é o método de transferência de calor para o material, pois diferenças entre a temperatura do forno e do material podem ser bastante relevantes dependendo da dimensão das peças, do gradiente inicial de temperatura e do tempo do ciclo. Sendo assim, a medição da temperatura no interior do forno pode não ser igual à temperatura real do material.

Na indústria de arames, as escolhas dos equipamentos e dos ciclos térmicos utilizados se baseiam no compromisso entre as propriedades necessárias ao material e as considerações práticas inerentes aos processos industriais, ou seja, produtividade. Dentre os processos de recozimento mais utilizados, o patenteamento é um tratamento especial que se aplica especificamente à indústria de arames e barras. Neste processo, que geralmente se aplica a aços de médio e alto teores de carbono, o material é austenitizado e resfriado rapidamente a uma temperatura abaixo de A1 (na faixa de 540ºC) por um período de tempo suficiente para permitir uma transformação completa da estrutura em perlita fina. Banhos salinos e leitos fluidizados são utilizados nesta operação e passes alternados e sucessivos de conformação e

recozimento podem ser aplicados dependendo das características finais desejadas (PAYSON, 1943).

No resfriamento do material, recém mencionado, resfriamento contínuo com ar pode ser utilizado como alternativa à imersão em banhos fundidos. Este patenteamento com ar é mais barato, porém a estrutura resulta numa perlita mais coalescida e, em alguns casos, presença de maior quantidade de ferrita. Esta estrutura pode ser inadequada às aplicações.

No patenteamento, o aquecimento para austenitização pode ser obtido por diversos meios, tais como fornos elétricos, a óleo, a gás; por imersão em banhos metálicos ou salinos e ainda por processos indutivos e resistivos.

Tipos de Fornos

Geralmente os fornos de recozimento utilizados em linhas de galvanização se apresentam em duas categorias distintas: banho ou contínuo. No entanto, cada uma destas categorias também é classificada de acordo com a configuração, combustível utilizado, método de transferência de calor, modo como a carga é sustentada, ou se move através do forno (VLADIMIROV, 1972).

Os fatores que devem ser considerados na escolha do tipo de forno são custo, tipo de ciclo de recozimento, atmosfera requerida e a natureza física das peças a serem recozidas. Todavia, em muitos casos o ciclo de recozimento utilizado é ditado pelo equipamento disponível.

Os fornos de recozimento em banho são necessários para recozer peças grandes, para pequenos lotes de uma dada peça, para uma grade mais complexa de aços e para peças de diversas dimensões recozidas simultaneamente. Estes fornos são muito eficientes nos casos de esferoidização, podendo alcançar até 100% de esferoidização dos carbonetos. Entretanto, os ciclos de recozimento podem ser bastante longos (dias) dependendo da composição do material e do tamanho da peça. Fornos contínuos são ideais para recozimentos isotérmicos de grandes quantidades de peças de um mesmo tipo de aço. Estes fornos podem ser construídos com várias zonas individuais que permitem que o tratamento seja consecutivamente levado a

diferentes temperaturas, mantidos numa mesma temperatura e resfriado numa taxa desejada. Estes fornos não são recomendados para o processo de esferoidização.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os testes e ensaios nos arames que estão descritos neste trabalho foram realizados na Siderúrgica Riograndense (SR), unidade industrial pertencente ao Grupo Gerdau com orientação e monitoramento do Laboratório de Metalurgia Física da UFRGS (LAMEF), pertencente ao Departamento de Metalurgia da Escola de Engenharia.

3.1 Material

O material utilizado para o desenvolvimento deste trabalho foi o arame galvanizado na bitola (dimensional) BWG 18 (1,24 mm). Esta escolha se deu pelo largo emprego deste material na fabricação de telas bem como uma forte tendência de migração de bitolas mais grossas para o BWG 18 garantindo uma melhor relação de custo x benefício na confecção da mesma.

3.1.1 Composição Química

A obtenção da composição química se deu através de um equipamento de espectrômetria de emissão óptica.

A determinação da composição química média dos materiais foi obtida a partir da análise de três amostras de material trefilado antes de serem submetidos ao processo de recozimento e galvanização.

3.1.2 Características Dimensionais e Mecânicas

O material possui tolerâncias dimensionais e de limite de resistência definidas. A faixa dimensional possui valores máximo e mínimo para o diâmetro do arame, enquanto a faixa de limite de resistência (tabela 3.1.) apresenta apenas um valor máximo (ABNT, 1982).

Tabela 3-1 Faixa de Tolerância Dimensional e Limite de Resistência do Arame BWG 18 (ABNT, 1982).

BITOLA BWG	DIÂMETRO (mm)			LIMITE DE RESISTÊNCIA
	NOMINAL	MÍNIMO	MÁXIMO	MÁXIMO
18	1,24	1,22	1,28	55 kgf/mm²

3.1.3 Material Trefilado

Para a realização deste trabalho, foram trefilados 3 fardos de 2000 kg cada de diferentes materiais, totalizando 6000 kg de arame trefilado. Os materiais foram acondicionados em local apropriado (estoque coberto e isento de umidade) evitando possível oxidação antes dos testes, bem como priorizado a execução do teste em relação a produção programada.

3.2 Principais Características do Forno de Recozimento (banho de chumbo – Pb)

Neste equipamento os arames percorrem o interior do forno onde são imersos em um banho de chumbo fundido onde ocorre a troca de calor responsável pelo aquecimento do material.

O forno de banho de chumbo estudado está dividido em duas zonas térmicas. A temperatura de trabalho registrada na primeira zona térmica durante os ensaios foi de 450ºC, sendo esta uma zona de pré-aquecimento e purga de impurezas do material.

A segunda zona térmica, responsável pelo recozimento propriamente dito do material, foi operada na temperatura de 720ºC no momento da amostragem.

3.3 Recozimento do material

Os testes foram realizados em 6 estocadores de 1000 kg cada que foram processados simultaneamente na linha com recozimento através do banho de chumbo.

O procedimento foi dividido em 2 etapas, sendo a primeira a produção conforme condições normais de operação (velocidade padrão) e na 2° etapa com velocidade 50% menor.

Em ambos os casos a operação se deu de forma contínua, ou seja, o arame trefilado foi desbobinado do estocador, passou no interior do forno de pré-aquecimento e posterior recozimento, sofreu uma decapagem química com HCl sendo preparado para a cuba de Zn e finalizando no bobinamento.

Os parâmetros variados nos testes foram material e velocidade. Referente ao material buscou-se trabalhar com percentuais de carbono diferentes, bem como menor teor de impurezas. Já com relação a variação da velocidade (90 m/min - padrão e 45 m/min - 50% menor) procurou-se aumentar a permanência no interior do forno. Em velocidades mais altas, o fio permanece um intervalo de tempo menor no interior do forno e, em velocidades mais baixas, o material permanece mais tempo no interior do forno de recozimento.

A influência da composição química e tempo de permanência no interior do forno sobre o material recozido foi avaliada em termos de propriedades mecânicas (ensaio de tração para determinação do limite de resistência do arame e microdureza) e características microestruturais (metalografia).

3.4 Amostragem

A retirada das amostras foi realizada em três momentos distintos conforme etapa do processo, ou seja, procurou-se avaliar características mecânicas e metalúrgica da matéria prima (FM) oriundo de 3 fontes como apresentado na Tabela 3.2.

Tabela 3-2 Origem da matéria-prima avaliada neste trabalho.

Fonte	**Aciaria**	**Laminação**
1007 – BCOC	Barão de Cocais	Riograndense
1004 – GACO	Açominas	Açominas
1408 – USB	Usiba	Usiba

Foram também retiradas amostras após as etapas de trefilação e posterior galvanização. Com isto pode-se mapear não só o efeito do recozimento nos materiais em estudo mas o

comportamento dos mesmos em cada etapa do processo, bem como a origem de fabricação da matéria prima (FM).

Ao final totalizou-se 75 amostras que possibilitaram ensaios de composição química, tração, microdureza e metalografia.

3.5 Análise Metalográfica

A análise metalográfica do material foi realizada seguindo os procedimentos comuns de preparação: corte das amostras, embutimento, lixamento, polimento, ataque químico com Nital 2%, análise em microscópio óptico Olympus BX60 (em aumento de 200 e 500x) e captura das imagens com câmera fotográfica digital.

Foram preparadas amostras dos 3 materiais (1007-BCOC, 1004-GACO, 1408-USB) com a variação de velocidades, bem como amostras do FM e arame trefilado nas secções longitudinal e transversal do arame.

3.6 Ensaio de Tração

A finalidade deste ensaio é determinar o limite de resistência dos arames que passaram pelo processo de recozimento, bem como avaliar o comportamento do mesmo no FM e arame trefilado.

O limite de resistência foi obtido através da tração uniaxial das amostras até sua ruptura (ABNT,2002).

Para este ensaio foram cortados corpos de prova com um comprimento de 500 mm.

Foram preparadas cinco amostras de cada velocidade de recozimento para obtenção de valores médios e os respectivos desvios associados.

A aquisição dos dados foi realizada via software comercial instalado junto à máquina de ensaios de tração automática (figura 3.1).

Figura 3.1 Máquina de Ensaio de Tração Utilizada para Determinação dos Limites de Resistência - Emic-DL 10000.

3.7 Ensaio de Microdureza

O objetivo deste ensaio é investigar o comportamento da dureza ao longo do processo de trefila e galvanização (após recozimento) nos diferentes aços estudados.

As seções transversais dos arames embutidos foram utilizadas para a determinação do perfil de microdureza do fio-máquina, arame trefilado e galvanizado.

Os ensaios foram conduzidos em um microdurômetro TUKON modelo 300 com faixa de operação de 200 a 800 HV com escala Vickers conforme figura 3.2.

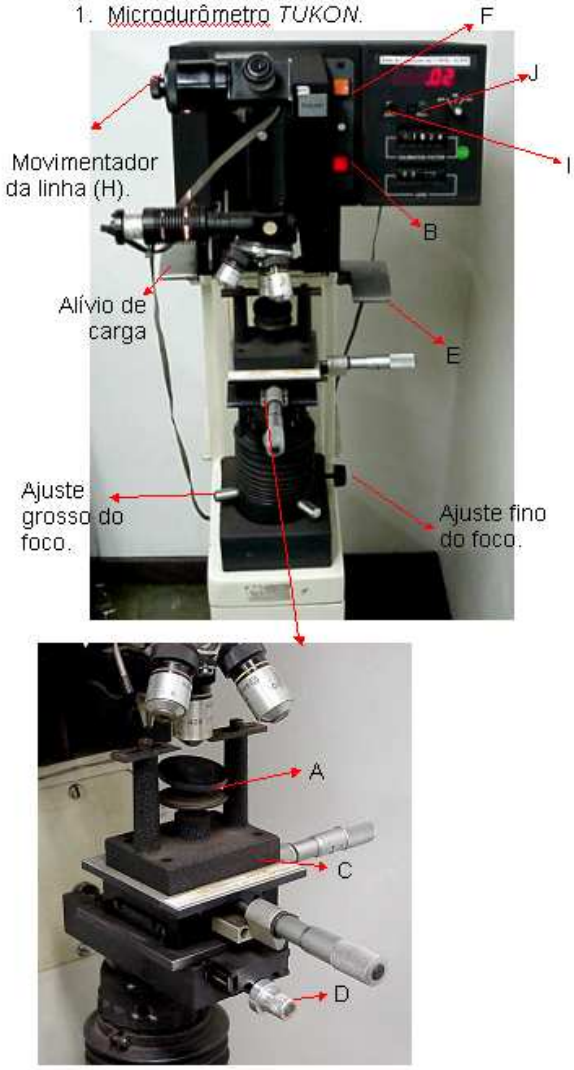


Figura 3.2 Microdurômetro TUKON – Modelo 300

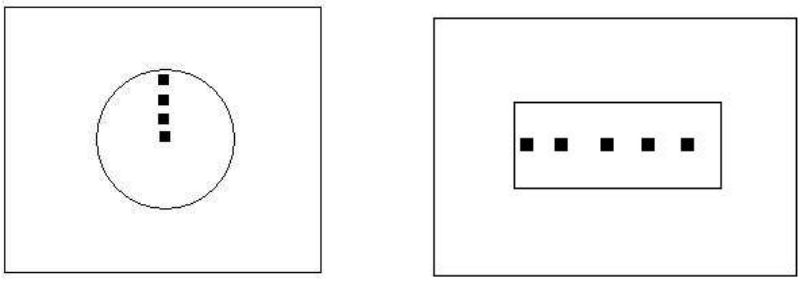


Figura 3.3 Figura mostrando esquema com a direção das identações (quadrados pretos) realizadas na amostra da seção tranversal e longitudinal do fio máquina e dos arames trefilados e galvanizados

3.8 Ensaio de Rolamento (Pino)

O objetivo deste ensaio é garantir aderência da camada de Zn quando o material for submetido a uma condição extrema. Para isto realiza-se um mínimo de 3 torções do arame em torno de seu próprio eixo, equivalente a um dobramento em 1 vez o diâmetro do fio, através de uma chave apropriada e com auxílio de uma morsa conforme figura 3.4.

Figura 3.4 Demonstração do ensaio de enrolamento de um material, ao redor do seu próprio eixo, com o auxílio de uma “chave” apropriada e de uma morsa.

A tabela abaixo resume todos os ensaios que foram realizados com cada uma das amostras de fio máquina, arame trefilado e arame galvanizado.

Tabela 3-3 Resumo dos ensaios realizados com as amostras de fio máquina, arame trefilado e arame galvanizado.

Material	**Aço**	**Ensaios**
Fio máquina	1007, 1004, 1408	Ensaio de tração, perfil de microdureza, análise da microestrutura
Arame trefilado	1007, 1004, 1408	Ensaio de tração, perfil de microdureza, análise da microestrutura, composição química
Arame Galvanizado	1007, 1004, 1408	Ensaio de tração, perfil de microdureza, análise da microestrutura, ensaio de enrolamento

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Composição Química

Os resultados de composição química do material, considerando os percentuais de cada elemento, são apresentados na tabela 4.1.

Tabela 4-1 Composição química dos aços estudados. [% em peso]

Material	C	Mn	Si	S	P	Cu	Cr
1007 BCOC	0,05	0,51	0,16	0,013	0,026	0,036	0,015
1004 GACO	0,05	0,40	0,08	0,008	0,010	0,011	0,008
1408 USB	0,08	0,53	0,23	0,007	0,018	0,074	0,010

Material	Ni	Mo	Sn	V	Nb	B	N_2 [ppm]
1007 BCOC	0,015	0,002	0,002	0,001	0,001	0,0005	33
1004 GACO	0,019	0,001	0,002	0,001	0,001	0,0010	45
1408 USB	0,022	0,001	0,007	0,001	0,002	0,0045	73

Os materiais em estudo podem ser classificados como aços ABNT 1007, 1004 e 1408 respectivamente (ABNT, 2000).

4.2 Matéria Prima - FM

As figuras 4.1 e 4.2 mostram a microestrutura transversal e longitudinal do FM 1007 BCOC. Nelas é possível notar que a estrutura do material é típica de um material recozido. Seus grãos não se apresentam alongados ou orientados e possuem um tamanho ASTM 8.

A estrutura é composta por uma matriz ferrítica e perlita. O limite de resistência médio do FM obtido em ensaios de tração é de 40,1 kgf/mm², conforme figura 4.3.

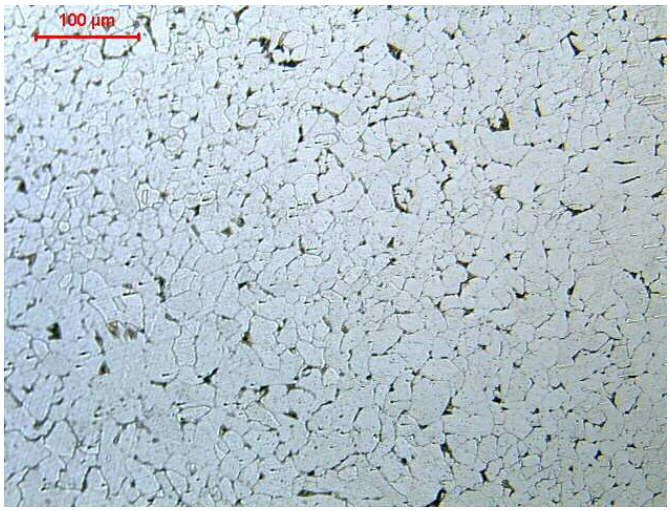


Figura 4.1 Microestrutura Transversal do FM 1007 BCOC apresentando uma matriz ferrítica com presença de perlita com tamanho de grão ASTM 8. Ataque Nital 2%.

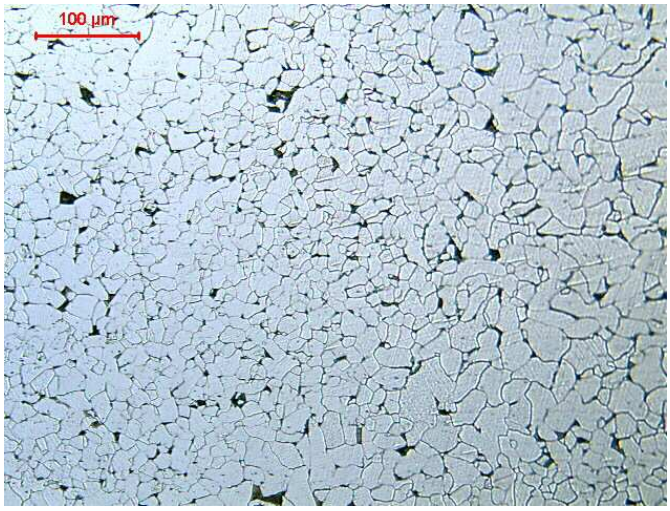


Figura 4.2 Microestrutura Longitudinal do FM 1007 BCOC apresentando uma matriz ferrítica com presença de perlita com tamanho de grão ASTM 8. Ataque Nital 2%.

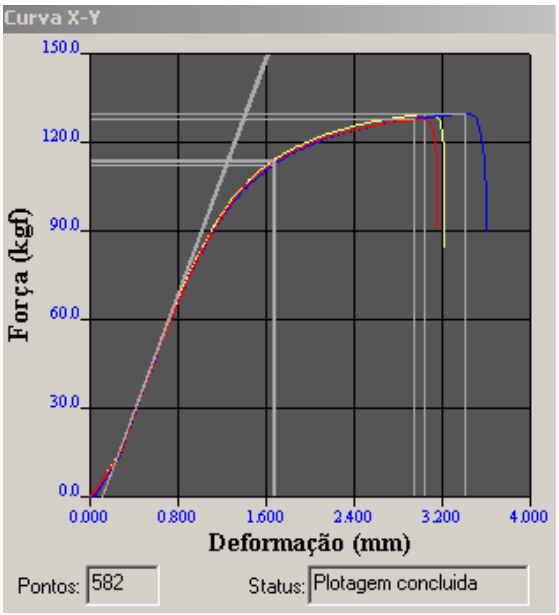


Figura 4.3 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de FM 1007 BCOC.

Os dados existentes na tabela 4.2, referem-se aos ensaios de microdureza na escala Vickers (HV) .

Tabela 4-2 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro do FM 1007 BCOC.

Ponto da Análise	Transversal	Longitudinal
1	128	128
2	126	127
3	125	128

Não observa-se tendência de aumento ou redução significativas de dureza tanto no perfil transversal (do centro para a superfície do FM), bem como no perfil longitudinal (ao longo de seu comprimento).

As figuras 4.4 e 4.5 mostram a microestrutura transversal e longitudinal do FM 1004 GACO. Nelas é possível notar que a estrutura do material é típica de um material recozido. Seus grãos não se apresentam alongados ou orientados e possuem um tamanho ASTM 8.

A estrutura é composta por uma matriz ferrítica e perlita bastante refinada tendo por conseqüência um limite de resistência médio do FM obtido em ensaios de tração de 38 kgf/mm², conforme figura 4.6, menor que o FM 1007 BCOC.

Figura 4.4 Microestrutura Transversal do FM 1004 GACO apresentando uma matriz ferrítica com presença de perlita com tamanho de grão ASTM 8. Ataque Nital 2%.

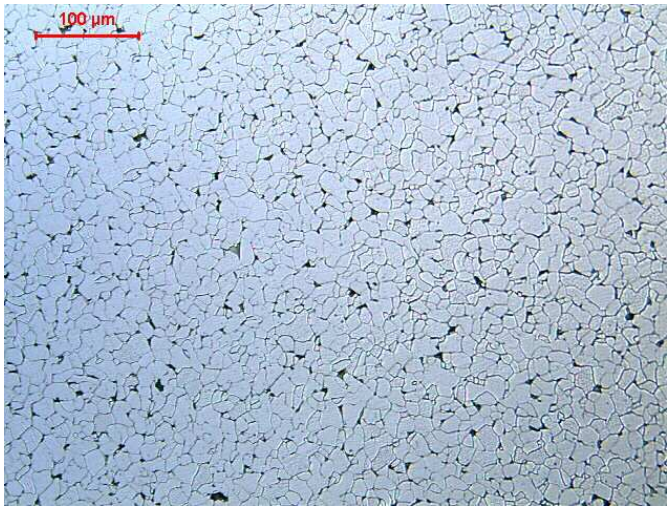


Figura 4.5 Microestrutura Longitudinal do FM 1004 GACO apresentando uma matriz ferrítica com presença de perlita com tamanho de grão ASTM 8. Ataque Nital 2%.

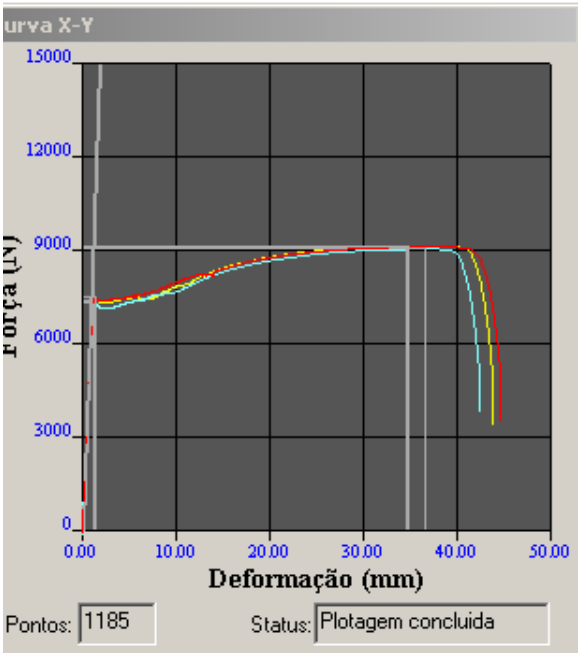


Figura 4.6 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de FM 1004 GACO.

Os dados existentes na tabela 4.3, referem-se aos ensaios de microdureza na escala vickers (HV).

Tabela 4-3 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV)obtido em um microdurômetro do FM 1004 GACO.

Ponto da Análise	Transversal	Longitudinal
1	123	125
2	123	123
3	125	123

Não identifica-se variação da dureza em ambos perfis (transversal e longitudinal). Comparativamente os valores médios de dureza do FM 1004 GACO são inferiores quando comparados ao FM 1007 BCOC tanto no perfil transversal como longitudinal.

As figuras 4.7 e 4.8 mostram a microestrutura transversal e longitudinal do FM 1408 USB. Nelas é possível notar que a estrutura do material é típica de um material recozido. Seus grãos não se apresentam alongados ou orientados e possuem um tamanho ASTM 8.

A estrutura é composta por uma matriz ferrítica e perlita bastante refinada tendo por conseqüência um limite de resistência médio do FM obtido em ensaios de tração é de 36,5 kgf/mm² conforme figura 4.9, menor valor entre os materiais estudados (FM 1007 BCOC e FM 1004 GACO).

Figura 4.7 Microestrutura Transversal do FM 1408 USB apresentando uma matriz ferrítica com presença de perlita com tamanho de grão ASTM 8. Ataque Nital 2%.

Figura 4.8 Microestrutura Longitudinal do FM 1408 USB apresentando uma matriz ferrítica com presença de perlita com tamanho de grão ASTM 8. Ataque Nital 2%.

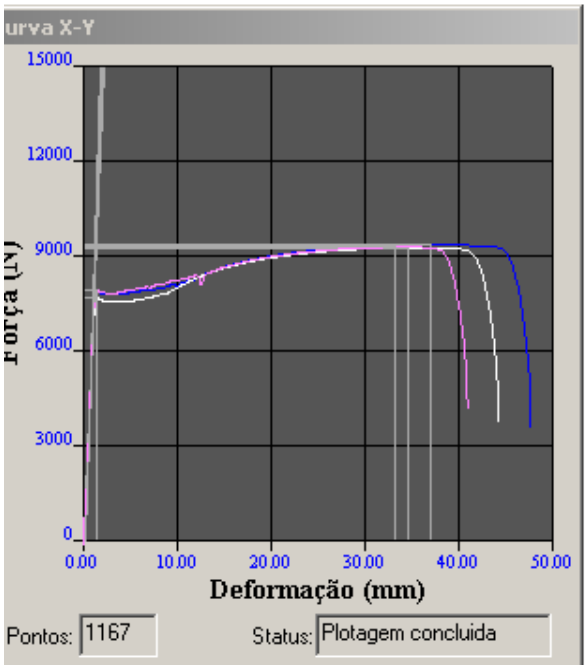


Figura 4.9 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de FM 1408 USB.

Os dados existentes na tabela 4.4, referem-se aos ensaios de microdureza em escala Vickers (HV).

Tabela 4-4 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro do FM 1408 USB.

Ponto da Análise	Transversal	Longitudinal
1	116	116
2	117	117
3	117	117

Não identifica-se de variação da dureza em ambos perfis (transversal e longitudinal). Comparativamente os valores médios de dureza do FM 1408 USB são inferiores quando comparados aos demais materiais estudados (FM 1007 BCOC e FM 1004 GACO).

4.3 Material Trefilado

As figuras 4.10 a 4.12 mostram a microestrutura de um arame cujo dimensional foi reduzido de 5,57 mm para 1,24 mm em 11 passes de trefilação representando uma redução de área de 95%. Nelas podemos comparar os efeitos do processo de trefilação quando submetido a diferentes aços (1007 BCOC, 1004 GACO e 1408 USB).

Nota-se que em ambas metalografias o material apresenta grãos menores caracterizando o processo de trabalho a frio.

A microestrutura longitudinal do arame trefilado 1007 BCOC (figura 4.10) apresenta grãos alongados ou orientados no sentido de trefilação, sendo que o Limite de Resistência Médio obtido em ensaio de Tração é da ordem 101,6 kgf/mm² conforme figura 4.13, demonstrando que o mesmo sofreu encruamento e respectivo aumentando do Limite de Resistência em 153%.

A microestrutura longitudinal do arame trefilado 1004 GACO (figura 4.11) apresenta grãos alongados ou orientados no sentido de trefilação, sendo que o Limite de Resistência Médio obtido em ensaio de Tração é da ordem 103,4 kgf/mm² conforme figura 4.14, demonstrando que o mesmo sofreu encruamento e respectivo aumentando do Limite de Resistência em 172%.

A microestrutura longitudinal do arame trefilado 1408 USB (figura 4.12) apresenta grãos alongados ou orientados no sentido de trefilação, sendo que o Limite de Resistência médio obtido em ensaio de Tração é da ordem 93 kgf/mm² conforme figura 4.15, demonstrando que o mesmo sofreu encruamento e respectivo aumentando do Limite de Resistência em 154,8%.

Comparativamente observa-se que o arame trefilado 1004 GACO apresenta o maior aumento do Limite de Resistência, fato este que pode ser explicado pelas faixas existentes no processo de laminação e trefilação (limites máximos e mínimos). Já o Limite de Resistência do arame trefilado 1408 USB mantém a tendência de menor valor médio, efeito do menor LR já identificado no fio máquina.

Figura 4.10 Microestrutura Longitudinal do Arame Trefilado 1007 BCOC apresentando grãos deformados conforme o sentido de trefilação do arame . Ataque Nital 2%.

Figura 4.11 Microestrutura Longitudinal do Arame Trefilado 1004 GACO apresentando grãos deformados conforme o sentido de trefilação do arame. Ataque Nital 2%.

Figura 4.12 Microestrutura Longitudinal do Arame Trefilado 1408 USB apresentando grãos deformados conforme o sentido de trefilação do arame. Ataque Nital 2%.

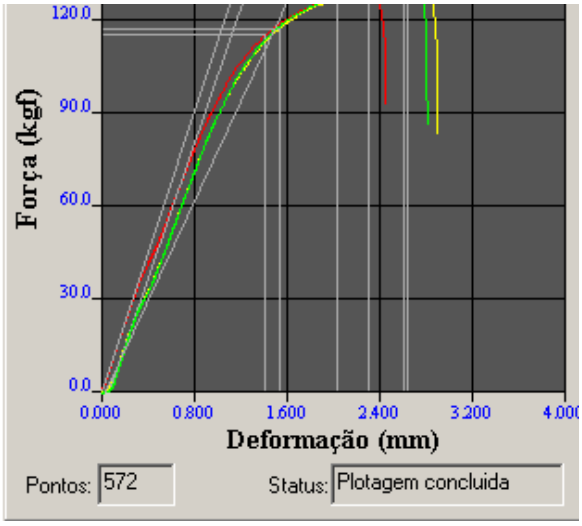


Figura 4.13 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de arame trefilado 1007 BCOC .

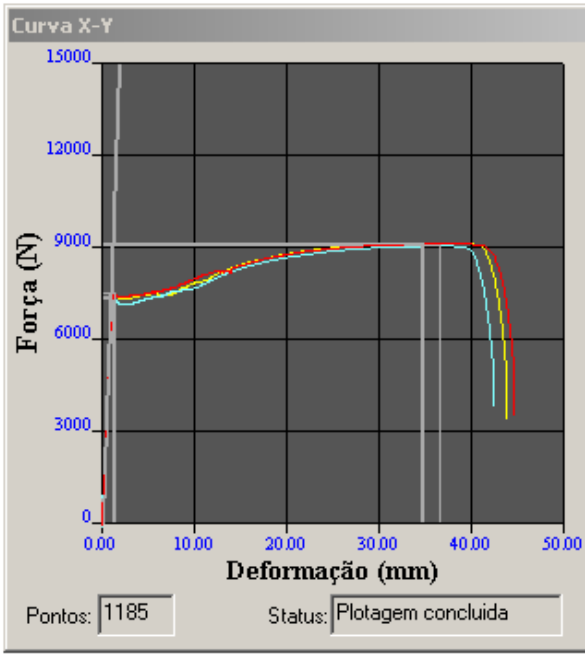


Figura 4.14 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de arame trefilado 1004 GACO.

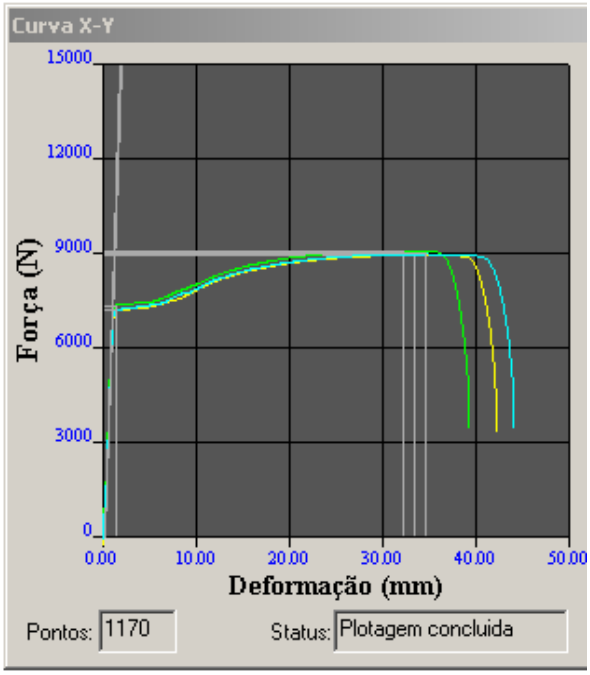


Figura 4.15 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de arame trefilado 1408 USB .

Analisando os ensaios de dureza da tabela 4.5, não observam-se tendências significativas de aumento ou redução de dureza em ambos perfis (transversal e longitudinal). O aumento de dureza registrado quando comparado ao FM 1007 BCOC reforça a influência do processo de trefilação (encruamento).

Tabela 4-5 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro do Arame Trefilado 1007 BCOC.

Ponto da Análise	Transversal	Longitudinal
1	289	278
2	302	279
3	306	282

Analisando os ensaios de dureza da tabela 4.6, não observa-se tendências significativas de aumento ou redução de dureza em ambos perfis (transversal e longitudinal).

O aumento de dureza registrado quando comparado ao FM 1004 GACO reforça a influência do processo de trefilação (encruamento). Não observa-se variações significativas de dureza quando comparado ao FM 1007 BCOC.

Tabela 4-6 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro do Arame Trefilado 1004 GACO.

Ponto da Análise	Transversal	Longitudinal
1	305	294
2	314	295
3	323	297

Analisando os ensaios de dureza da tabela 4.7, não observa-se tendências significativas de aumento ou redução de dureza em ambos perfis (transversal e longitudinal). O aumento de dureza registrado quando comparado ao FM 1408 USB reforça a influência do processo de trefilação (encruamento). Não observa-se variações significativas de dureza quando comparado ao FM 1007 BCOC e FM 1004 GACO.

Tabela 4-7 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV)obtido em um microdurômetro do Arame Trefilado 1408 USB.

Ponto da Análise	Transversal	Longitudinal
1	268	267
2	272	268
3	270	267

4.4 Material (arame) Galvanizado

A análise do material galvanizado deve levar em consideração a velocidade do processo, visto que o recozimento do arame se dá de forma contínua etapa esta que antecede os processos de decapagem e zincagem conforme descrito no processo de galvanização. Logo, buscaremos analizar as variáveis: aço 1007 BCOC, 1004 GACO e 1408 USB, como também velocidade dos fios na Linha de Galvanização, sendo: 45 m/min e 90 m/min.

As figuras 4.16 e 4.17 correspondem as metalografias obtidas nas amostras com velocidades de 45 e 90 m/min respectivamente para o aço 1007 BCOC.

As microestruturas nestas metalografias revelam que a recristalização da ferrita ocorre em ambas velocidades, ou seja, não identifica-se ferrita no estágio encruado. Outro ponto que deve ser observado refere-se a morfologia da perlita que embora independente da velocidade testada permanece com seu estado alongado inalterado em ambas condições de recozimento.

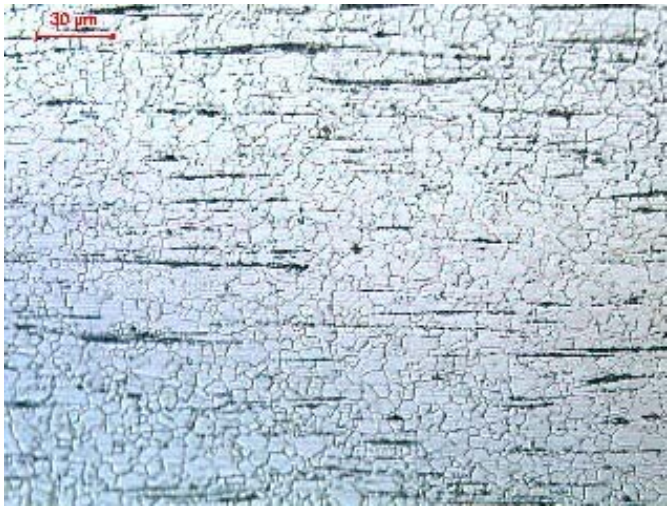


Figura 4.16 Microestrutura Longitudinal do arame recozido em banho de chumbo (Pb) na velocidade de 45 m/min - Aço 1007 BCOC. Ataque Nital 2%.

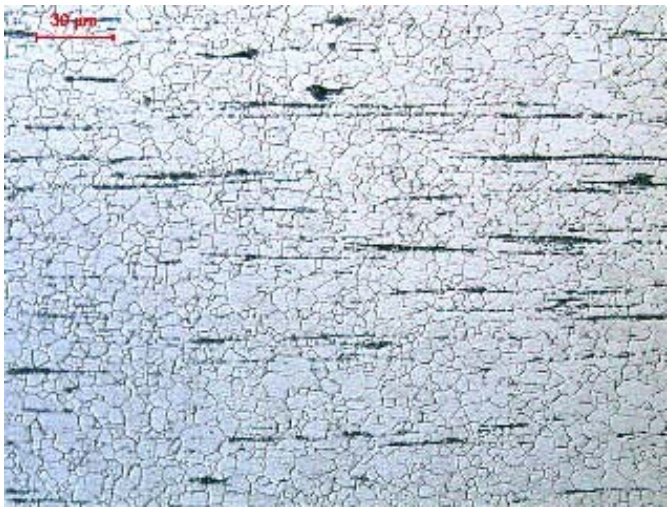


Figura 4.17 Microestrutura Longitudinal do arame recozido em banho de chumbo (Pb) na velocidade de 90 m/min - Aço 1007 BCOC. Ataque Nital 2%.

O decréscimo observado no limite de resistência médio do arame galvanizado quando reduzida sua velocidade de processo conforme demonstrado na Tabela 4.8 pode ser associado ao crescimento gradativo dos grãos ferríticos. Mesmo com velocidades mais baixas, não ocorrem transformações na morfologia da perlita, fato este que aliado ao pequeno tempo de processo comprova que o material recozido não atinge a temperatura de transformação A1 calculada anteriormente (723ºC). Constata-se portanto que o processo de recozimento da linha de galvanização estudada pode ser classificado como subcrítico por não ultrapassar a temperatura de transformação A1.

Tabela 4-8 Relação do limite de resistência médio obtido em função da velocidade de recozimento da linha de galvanização no aço 1007 BCOC.

V (m/min)	Lr médio (kgf/mm²)
45	39,9 (figura 4.18)
90	44,7 (figura 4.19)

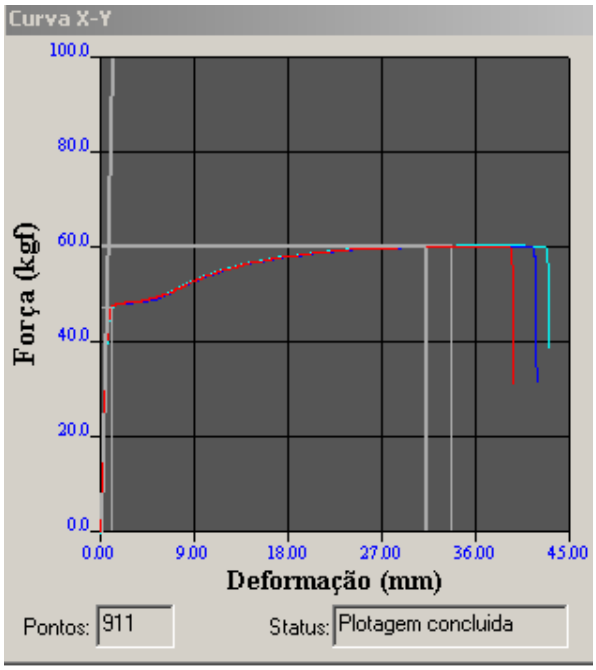


Figura 4.18 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de arame galvanizado 1007 BCOC. Velocidade de galvanização do arame de 45 m/min.

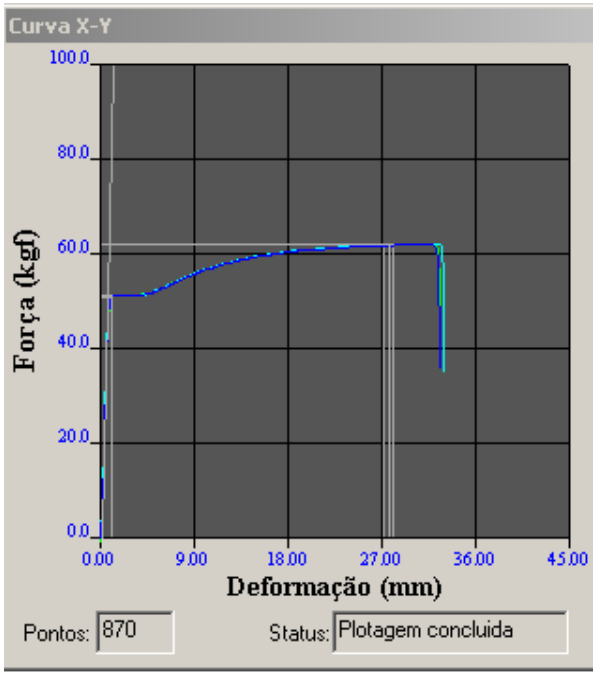


Figura 4.19 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de arame galvanizado 1007 BCOC. Velocidade de galvanização do arame de 90 m/min.

As figuras 4.20 e 4.21 correspondem as metalografias obtidas nas amostras com velocidades de 45 e 90 m/min respectivamente para o aço 1004 GACO.

As microestruturas nestas metalografias revelam que a recristalização da ferrita ocorre em ambas velocidades, ou seja, não identifica-se ferrita no estágio encruado. Outro ponto que deve ser observado refere-se a morfologia da perlita que embora independente da velocidade testada permanece com seu estado alongado inalterado em ambas condições de recozimento.

O decréscimo observado no limite de resistência médio do arame galvanizado quando reduzida sua velocidade de processo conforme demonstrado na Tabela 4.9 pode ser associado ao crescimento gradativo dos grãos ferríticos. Mesmo com velocidades mais baixas, não ocorrem transformações na morfologia da perlita.

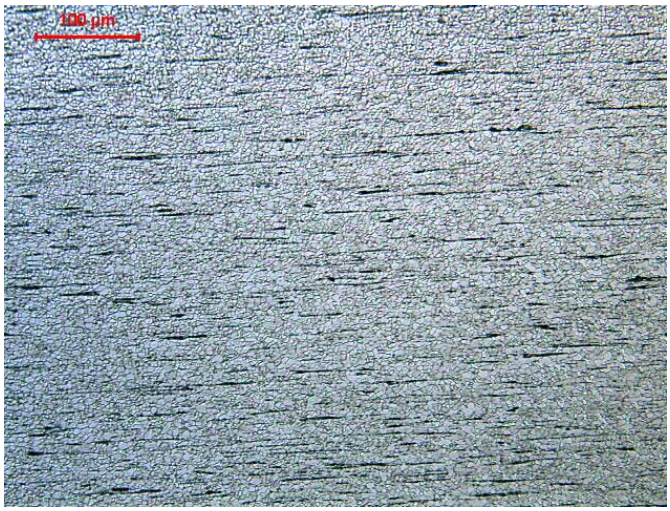


Figura 4.20 Microestrutura Longitudinal do arame recozido em banho de chumbo (Pb) na velocidade de 45 m/min - Aço 1004 GACO. Ataque Nital 2%.

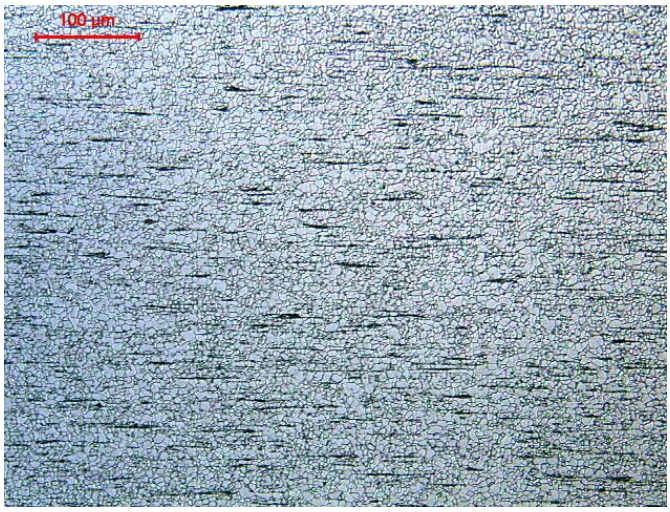


Figura 4.21 Microestrutura Longitudinal do arame recozido em banho de chumbo (Pb) na velocidade de 90 m/min - Aço 1004 GACO. Ataque Nital 2%.

Tabela 4-9 Relação do limite de resistência médio obtido em função da velocidade de recozimento da linha de galvanização no aço 1004 GACO.

V (m/min)	Lr médio (kgf/mm²)
45	36,5 (figura 4.22)
90	38,7 (figura 4.23)

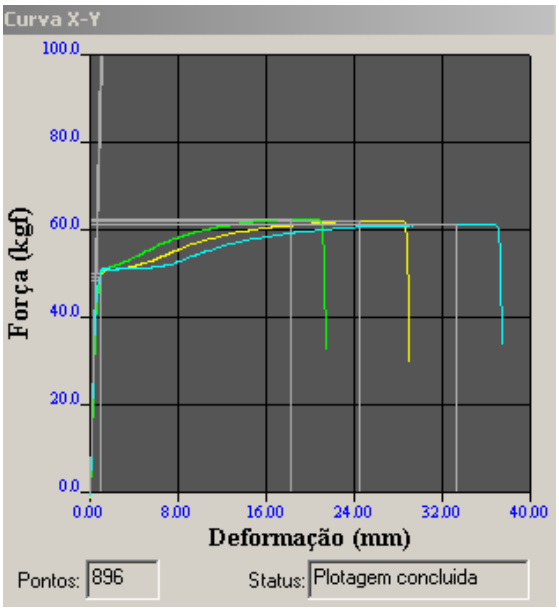


Figura 4.22 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de arame galvanizado 1004 GACO. Velocidade do fio 45 m/min.

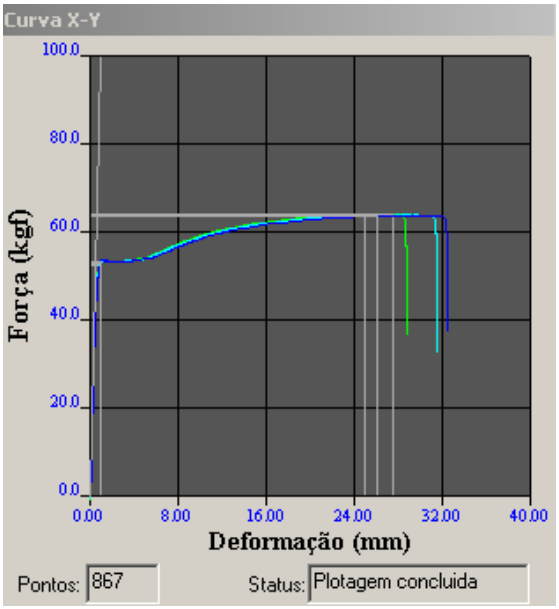


Figura 4.23 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de arame galvanizado 1004 GACO. Velocidade do fio 90 m/min.

As figuras 4.24 e 4.25 correspondem as metalografias obtidas nas amostras com velocidades de 45 e 90 m/min respectivamente para o aço 1408 USB.

As microestruturas nestas metalografias revelam que a recristalização da ferrita ocorre em ambas velocidades, ou seja, não identifica-se ferrita no estágio encruado. Outro ponto que deve ser observado refere-se a morfologia da perlita que embora independente da velocidade testada permanece com seu estado alongado inalterado em ambas condições de recozimento.

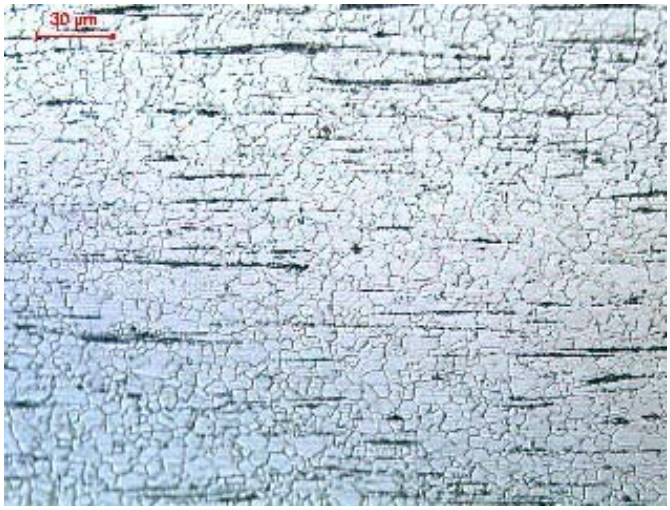


Figura 4.24 Microestrutura Longitudinal do arame recozido em banho de chumbo (Pb) na velocidade de 45 m/min - Aço 1408 USB. Ataque Nital 2%.

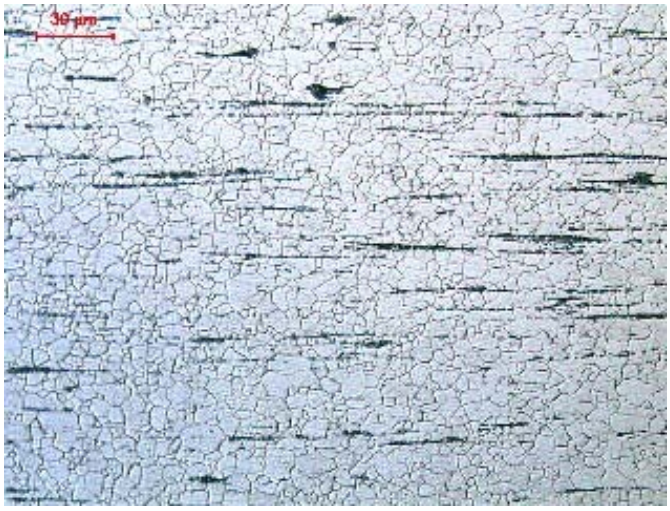


Figura 4.25 Microestrutura Longitudinal do arame recozido em banho de chumbo (Pb) na velocidade de 90 m/min - Aço 1408 USB. Ataque Nital 2%.

O decréscimo observado no limite de resistência médio do arame galvanizado quando reduzida sua velocidade de processo conforme demonstrado na Tabela 4.10 pode ser associado

ao crescimento gradativo dos grãos ferríticos. Mesmo com velocidades mais baixas, também não ocorrem transformações na morfologia da perlita.

Tabela 4-10 Relação do limite de resistência médio obtido em função da velocidade de recozimento da linha de galvanização no aço 1408 USB.

V (m/min)	Lr médio (kgf/mm²)
45	37,2 (figura 4.26)
90	40,5 (figura 4.27)

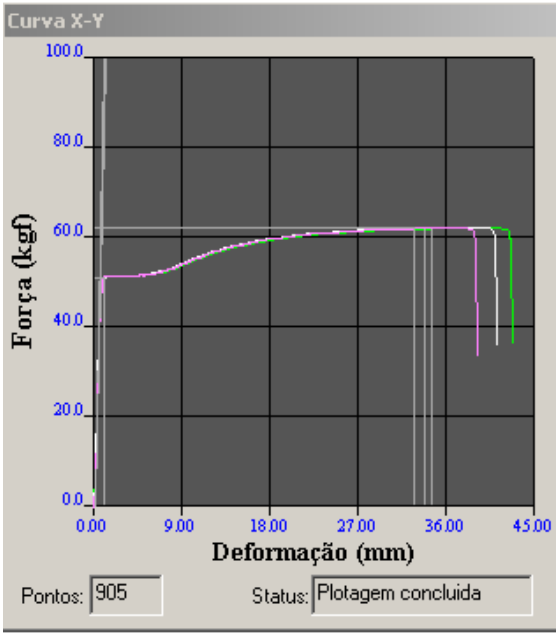


Figura 4.26 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de arame galvanizado 1408 USB. Velocidade do fio 45 m/min.

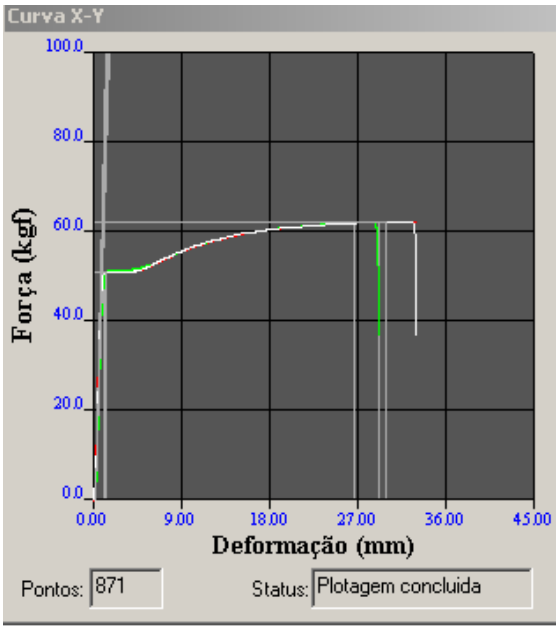


Figura 4.27 Curvas resultantes dos ensaios de tração uniaxiais realizados para determinar o limite de resistência das amostras de arame galvanizado 1408 USB. Velocidade do fio 90 m/min.

Utilizando a velocidade de galvanização de 90m/min e comparando as durezas medidas nas tabelas 4.11 à 4.13 observam-se diferenças significativas (20 HV) no arame galvanizado 1007 BCOC, produzido a partir de um fio máquina obtido em um laminador sem controle de refrigeração, em relação aos arames galvanizados 1408 USB e 1004 GACO, ambos oriundos de fio máquina obtido em processos de laminação com resfriamento controlado. Comparando os perfis de dureza longitudinais e transversais dos três tipos de aço, não observam-se diferenças significativas.

Tabela 4-11 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro para o Arame Galvanizado 1007 BCOC com V = 90 m/min.

Ponto da Análise	Transversal	Longitudinal
1	180	177
2	177	177
3	172	182

Tabela 4-12 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro para o Arame Galvanizado 1408 USB com V = 90 m/min.

Ponto da Análise	Transversal	Longitudinal
1	159	161
2	163	159
3	163	166

Tabela 4-13 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro do Arame Galvanizado 1004 GACO com V = 90 m/min.

Ponto da Análise	Transversal	Longitudinal
1	157	161
2	153	164
3	153	165

Reduzindo a velocidade de galvanização para 45 m/min e medindo a dureza nos três tipos de aço, resultam as tabela 4.14 à 4.16, onde observa-se comportamento semelhante ao ocorrido com a velocidade de 90m/min, onde o aço 1007 BCOC apresentou durezas cerca de 10 HV superiores aos aços 1408 USB e 1004 GACO provavelmente resultado do processo de refrigeração do fio máquina. Quanto às durezas transversais e longitudinais, não foram observadas diferenças significativas entre os aços. Quando comparado os três tipos de aço galvanizados com velocidade de 90m/min em relação aos mesmos aços galvanizados a 45m/min, observam-se diferenças de dureza na ordem de 10 HV resultante da redução de velocidade, em conseqüência, do aumento do tempo de permanência dos aços na etapa de tratamento térmico.

Tabela 4-14 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro do Arame Galvanizado 1007 BCOC com V = 45 m/min.

Ponto da Análise	Transversal	Longitudinal
1	168	159
2	161	162
3	159	169

Tabela 4-15 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro do Arame Galvanizado 1408 USB com V = 45 m/min

Ponto da Análise	Transversal	Longitudinal
1	155	153
2	151	154
3	157	148

Tabela 4-16 Valores médios de microdureza com escala Vickers (HV) obtido em um microdurômetro do Arame Galvanizado 1004 GACO com V = 45 m/min.

Ponto da Análise	Transversal	Longitudinal
1	149	149
2	144	151
3	145	150

Comparando-se os arames trefilados, tabela 4.5 à 4.7, com os arames galvanizados tabela 4.11 à 4.16, observam-se diminuições de dureza na ordem de 100 a 130 HV, resultantes do tratamento térmico aplicado durante o processo de galvanização do arame. Para o processo de galvanização, a redução de velocidade proporciona uma menor dureza nos arames, decorrentes do aumento de tempo de permanência de cada material na etapa de tratamento térmico, no caso, a redução da velocidade de galvanização pela metade da velocidade padrão (90m/min), resultou no dobro do tempo de permanência do material na etapa de tratamento térmico.

Ao analisar as etapas do processo de galvanização deve-se atentar para a zincagem, sendo que a mesma se dá em linha com o recozimento, conforme já tratado em etapas

anteriores. Para tanto a variação da velocidade tem influência tanto nas propriedades mecânicas do arame, bem como na camada de Zn. Logo, torna-se fundamental levar em conta a aderência do Zn no arame. O teste mais usual para medir esta aderência é o ensaio de rolamento (pino) onde o arame é enrolado várias vezes sobre o seu próprio corpo. A figura 4.28 apresenta uma fotografia representativa de todas amostras avaliadas no ensaio de rolamento. Não foi observado sinais de desplacamento (descascamento) de camada em enhuma das condições avaliadas.

Para última análise utilizou-se o software estatístico Minitab, onde através das cartas de controle apresentadas na figura 4.29 podemos observar que das 3 opções analisadas a combinação tarugo produzido em Barão de Cocais e laminado na SR relacionado a uma velocidade de galvanização de 90 m/min apresenta o maior Limite de Resistência médio (51,6 kgf/mm²), bem como uma maior dispersão entre limites (2,8 kgf/mm²) fazendo com que causas especiais possam facilmente ultrapassar o limite superior especificado de 55 kgf/mm².

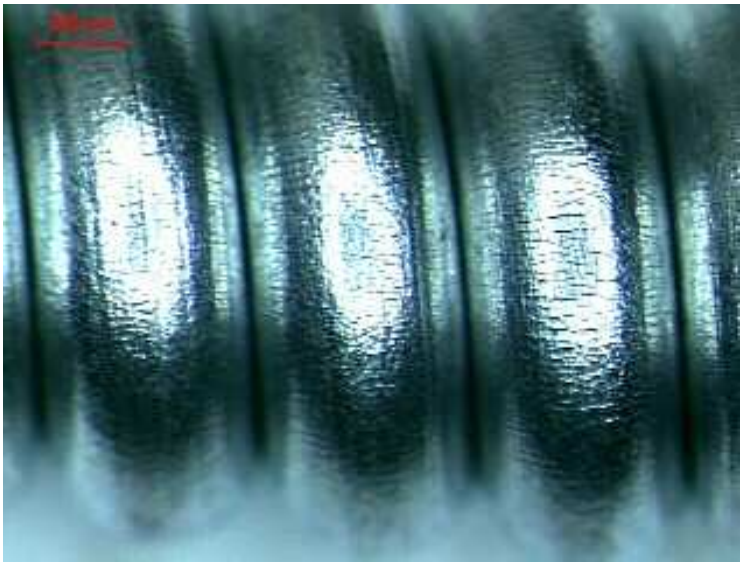
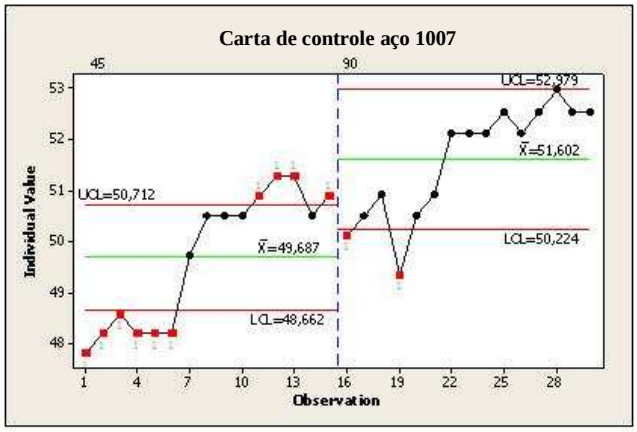
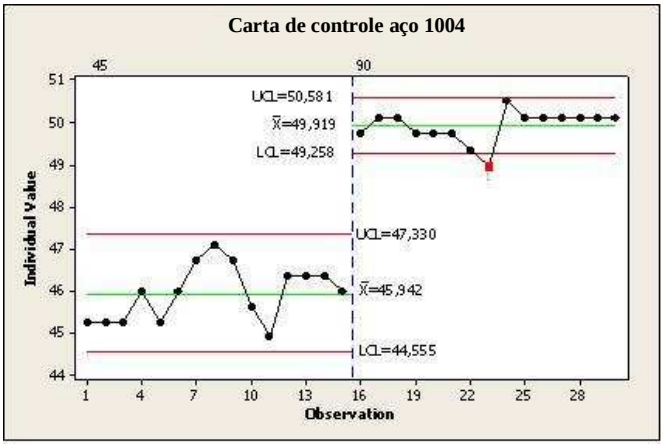


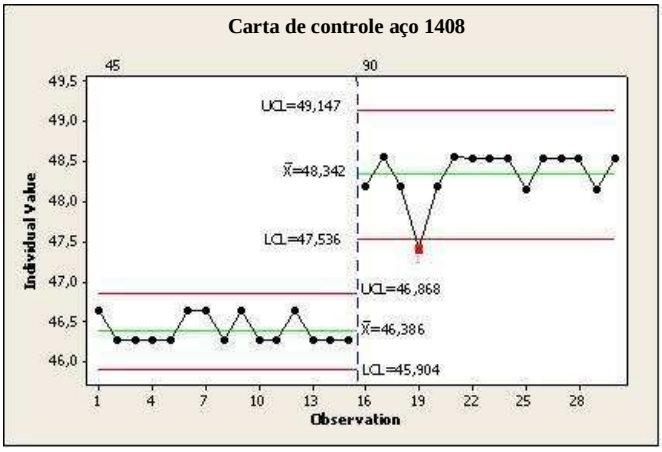
Figura 4.28 Ensaio de enrolamento no arame galvanizado 1007 BCOC – Velocidade do fio 45 m/min.



1007BCOC



1004GACO



1408 USB

Figura 4.29 Cartas de Controle para o limite de resistência em função do tipo de emprego (aço) e velocidade da linha de Galvanização em m/min.

5. CONCLUSÕES

O aço 1007 BCOC é o que apresenta o maior limite de resistência comparado aos demais, ficando bastante próximo do Limite Superior Especificado para o arame galvanizado.

A inexistência de um processo controlado de refrigeração após o formador de espiras da laminação faz com que exista grande variabilidade nos valores de limite de resistência do aço 1007 BCOC. A proximidade do valor de limite de resistência apresentado pelo aço 1007 BCOC com relação ao limite superior de especificação do produto galvanizado aliado à variabilidade apresentada faz com que ocorram desclassificações de qualidade durante a produção.

A mudança para os aços 1004 GACO e 1408 USB proporcionam produtos com especificação de limite de resistência de acordo com a faixa especificada

Observa-se que tanto o 1004 GACO, bem como o 1408 USB apresentam uma menor variabilidade no limite de resistência.

A redução da velocidade influi na queda do limite de resistência podendo ser uma alternativa para manutenção da matéria prima atual.

A redução de 50% na velocidade de passagem pela cuba de recozimento pode ser restritivo no atendimento do mercado visto a grande perda de produção por quebra de ritmo (equipamento operando a 50% de sua velocidade de projeto).

O recozimento no forno com banho de chumbo fundido se caracteriza exclusivamente como subcrítico em todos intervalos de velocidade estudados. Neste caso, a diminuição no limite de resistência ocorre basicamente em função da recristalização da ferrita.

A mudança de matéria prima (aço 1004 GACO ou 1408 USB) que garantirá as características de qualidade do produto, dependendo de um estudo de viabilidade econômica.

O projeto não contemplou alteração na temperatura de recozimento devido ao risco de dano do equipamento e redução de sua vida útil (cuba metálica).

6. SUGESTÕES DE NOVOS TRABALHOS

Avaliar a influência dos elementos químicos existentes no aço nas propriedades finais do galvanizado.

Avaliar a influência do Boro no aumento de Lr com o passar do tempo (envelhecimento)

Avaliar a influência do processo de Trefilação (microcassete versus fieiras) no Lr dos galvanizados

Avaliar influência da temperatura de recozimento na linha de galvanização

Avaliar outros aços de menor carbono oriundo da BCOC

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 CHIAVERINI, V. Aços e Ferros Fundidos. 7. Ed., São Paulo: Associação Brasileira de Metalúrgica e Materiais, 2002.
2 SCHAEFFER, L. Conformação Mecânica. Porto Alegre: Imprensa Livre, 1999.
3 GERDAU. Processo de Produção do Aço. <http://www.gerdau.com.br>, 2006.
4 GERDS, A. F., BOULGER, F. W. Rod, wire, and tube drawing In: Batelle Memorial Inatitute. Metal Deformation Processing Columbus, 1966.
5 DIETER, G. E. Metalurgia Mecânica. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981.
6 ENGHAG, P. Steel Wire Technology. Sweden: Repro Örebro University, 3ª ed., 2003.
7 DOVE, A. B. Steel Wire Handbook, Vol 2. Stanford: The Wire Association, 1979.
8 BUTTON, S.T. Trefilação: Programa de Educação Continuada. São Paulo: ABM, 2001.
9 WRIGHT, R. Tips from Wiredrawing 101^{SM}. Wire and Cable Technology International, p. 128, Mar 2002 a.
10 HILLERY, M. T.; McCABE, V. J. Wire Drawing at Elevated Temperatures Using Different Die Materials and Lubricants. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 55, p. 53-57, 1995.
11 BROOKS, C.R. Principles of the Heat Treatment of Plain carbon and Low Alloy Steels, 1st ed. American Society for Metals, 1996.
12 BANERJEE, B.R. Annealing Heat Treatments, Met. Prog., Nov 1980, p59.
13 PORTER,D.A. Phase Transformation in Metals and Alloys.2nd.ed.,Chapman & Hall,1992
14 KRAUSS, G. Steels: Heat Treatment and Processing Principles, ASM International, 1989.
15 KRAUSS, G. Microstructures, Processing, and Properties of Steels, in Properties and Selection: Irons, Steels and High-Performance Alloys, Vol 1, Metals Handbook, 10th ed., ASM International, 1990, p 126-139.
16 ANDREWS, K.W. Empirical Formulae for the Calculation of Some Transformation Temperatures, J. Iron Steel Inst., Vol 203, 1965, p 721.
17 PAYSON, P. The Annealing of Steel, series, Iron Age, June and July 1943; Technical booklet, Crucible Steel Company of America.
18 VLADIMIROV, Y.V. Heating schedules for wire of pre-eutectoid steel in patenting and normalizing, STEEL IN THE URSS, Feb 1972
19 Norma ABNT NBR 5589/82. Arames de baixo teor de carbono. Diâmetros, tolerâncias e pesos. Rio de Janeiro, 1982.
20 Norma ABNT NBR 6892/02. Materiais Metálicos. Ensaios de tração à temperatura ambiente. Rio de Janeiro, 2002.
21 Norma ABNT NBR NM 87/00. Aço carbono e ligados para construção mecânica, designação e composição química. Rio de Janeiro, 2000.
22 www.heicowiregroup.com/.../127080201Cast%20&%20Helix%20Technical%20Bulletin
23 http://www.eurolls.com/filo/filodett.asp?indprod=8

8. ANEXOS

GERDAU RIOGRANDENSE

Documento OS 1976

RELATÓRIO DE ANÁLISE
DESENVOLVIMENTO DA QUALIDADE - LABORATÓRIO

Título:	**Caracterização de Material**

Material: Arame Galvanizado dos aços 1007 e 1408.

Solicitante: Mokan e Mattiello

Cliente: Trefila 2

Quantidade recebida: 40 amostras.

1 Introdução/Objetivo

Realizar análise comparativa entre os aços 1007 e 1408 no processo de fabricação do arame galvanizado.

2 Ensaios

2.1 Ensaio de Tração

FM do aço 1408

AMOSTRA	ENSAIO	∅ MÍN. [mm]	∅ MÁX. [mm]	∅ MÉD. [mm]	OVALIZ. [mm]	So [mm2]	Fe [N]	Le [MPa]	Fr [N]	Lr [MPa]	Lo [mm]	Lf [mm]	A [%]	∅ FINAL [mm]	Z [%]
1 início	1	5,51	5,64	5,58	0,13	24,41	6291	258	8880	364	55	73,92	34,40	2,49	80,05
	2	5,47	5,71	5,59	0,24	24,54	6842	279	9154	373	55	72,46	31,75	2,45	80,79
	3	5,44	5,73	5,59	0,29	24,50	6255	255	8846	361	55	74,75	35,91	2,51	79,80
2 início	1	5,50	5,71	5,61	0,21	24,67	6583	267	9126	370	55	74,3	35,09	2,63	77,98
	2	5,46	5,75	5,61	0,29	24,67	6570	266	9051	367	55	73,26	33,20	2,54	79,46
	3	5,58	5,80	5,69	0,22	25,43	6674	262	9161	360	55	72,46	31,75	2,52	80,39
3 meio	1	5,55	5,70	5,63	0,15	24,85	5391	217	8689	350	55	73,59	33,80	2,59	78,80
	2	5,52	5,71	5,62	0,19	24,76	5760	233	9024	364	55	71,53	30,05	2,64	77,89
	3	5,55	5,70	5,63	0,15	24,85	5595	225	8873	357	55	73,02	32,76	2,59	78,80
4 fim	1	5,50	5,68	5,59	0,18	24,54	6371	260	8894	362	55	72,43	31,69	2,58	78,70
	2	5,44	5,64	5,54	0,20	24,11	6522	271	8955	371	55	72,75	32,27	2,54	78,98
	3	5,50	5,71	5,61	0,21	24,67	6645	269	9024	366	55	73,23	33,15	2,51	79,95
5 fim	1	5,50	5,64	5,57	0,14	24,37	6663	273	9113	374	55	74,34	35,16	2,48	80,18
	2	5,57	5,73	5,65	0,16	25,07	6934	277	9208	367	55	71,55	30,09	2,57	79,31
	3	5,46	5,74	5,60	0,28	24,63	6488	263	8976	364	55	73,47	33,58	2,48	80,39

OBSERVAÇÕES:

So = Seção transversal da barra (mm²).

Fe = (Força de escoamento) - Carga máxima aplicada sobre a seção transversal até o início da deformação plástica.

Fr = (Força de resistência) - Carga máxima aplicada sobre a seção transversal até a ruptura.

Le = (Limite de escoamento) - Tensão máxima aplicada na seção transversal (N/mm²) no início da deformação plástica..

Lr = (Limite de resistência) - Tensão máxima aplicada na seção transversal (N/mm²).

A = Alongamento após ruptura da barra.

FM do aço 1007

AMOSTRA	ENSAIO	∅MÍN. [mm]	∅MÁX. [mm]	∅MÉD. [mm]	OVALIZ. [mm]	So [mm2]	Fe [N]	Le [MPa]	Fr [N]	Lr [MPa]	Lo [mm]	Lf [mm]	A [%]	∅FINAL [mm]	Z [%]
1 início	1	5,46	5,69	5,57	0,23	24,39	7144	293	9790	401	55	73,42	33,49	2,34	82,37
	2	5,41	5,68	5,55	0,27	24,15	7522	311	9872	409	55	72,55	31,91	2,38	81,58
	3	5,42	5,71	5,57	0,29	24,35	7219	296	9769	401	55	73,32	33,31	2,65	77,35
2 início	1	5,41	5,73	5,57	0,32	24,34	7497	308	9913	407	55	73,94	34,44	2,49	79,99
	2	5,44	5,70	5,57	0,26	24,37	7356	302	9790	402	55	72,34	31,53	2,53	79,37
	3	5,47	5,72	5,60	0,25	24,60	7388	300	9831	400	55	73,84	34,25	2,56	79,08
3 meio	1	5,30	5,72	5,51	0,42	23,85	7398	310	9872	414	55	71,05	29,18	2,76	74,91
	2	5,39	5,71	5,55	0,32	24,18	6912	286	9721	402	55	71,57	30,13	2,58	78,38
	3	5,40	5,71	5,55	0,31	24,21	6771	280	9605	397	55	72,77	32,31	2,75	75,47
4 fim	1	5,48	5,71	5,59	0,23	24,58	7279	296	9694	394	55	70,96	29,02	2,51	79,87
	2	5,43	5,73	5,58	0,30	24,48	7265	297	9625	393	55	73,10	32,91	2,52	79,63
	3	5,42	5,68	5,55	0,26	24,20	7301	302	9619	398	55	73,98	34,51	2,60	78,06
5 fim	1	5,44	5,80	5,62	0,36	24,82	7452	300	9858	397	55	74,55	35,55	2,48	80,53
	2	5,38	5,84	5,61	0,46	24,73	7602	307	9913	401	55	72,35	31,55	2,42	81,40
	3	5,44	5,80	5,62	0,35	24,80	7212	291	9783	394	55	71,2	29,45	2,60	78,59

OBSERVAÇÕES:

So = Seção transversal da barra (mm²).

Fe = (Força de escoamento) - Carga máxima aplicada sobre a seção transversal até o início da deformação plástica.

Fr = (Força de resistência) - Carga máxima aplicada sobre a seção transversal até a ruptura.

Le = (Limite de escoamento) - Tensão máxima aplicada na seção transversal (N/mm²) no início da deformação plástica..

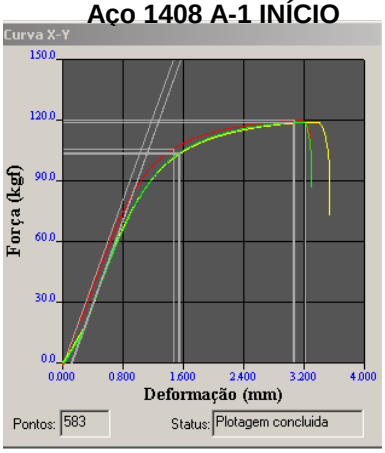
Lr = (Limite de resistência) - Tensão máxima aplicada na seção transversal (N/mm²).

A = Alongamento após ruptura da barra.

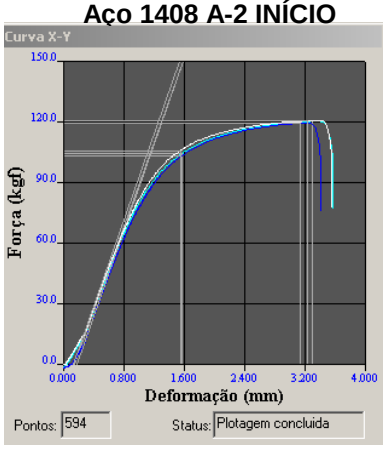
Arame Trefilado

AÇO	AMOSTRA	ENSAIO	∅ MÍN. [mm]	∅ MÁX. [mm]	∅ MÉD. [mm]	OVALIZ. [mm]	So [mm2]	Fe [Kgf]	Le [Kgf/mm2]	Fr [Kgf]	Lr [Kgf/mm2]	Lo [mm]	Lf [mm]	A [%]
1408	T1 início	1	1,27	1,27	1,27	0,00	1,27	106	84	120	95	13	13,52	4,00
		2	1,27	1,27	1,27	0,00	1,27	103	81	119	94	13	13,53	4,08
		3	1,27	1,27	1,27	0,00	1,27	104	82	119	94	13	13,58	4,46
	T2 início	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	105	82	121	95	13	13,55	4,23
		2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	103	81	120	94	13	13,54	4,15
		3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	106	83	121	95	13	13,60	4,62
	T3 meio	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	102	80	118	92	13	13,58	4,46
		2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	102	80	118	92	13	13,57	4,38
		3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	98	77	116	91	13	13,47	3,62
	T4 fim	1	1,27	1,27	1,27	0,00	1,27	103	81	119	94	13	13,57	4,38
		2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	102	80	118	92	13	13,56	4,31
		3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	99	78	117	92	13	13,51	3,92
	T5 fim	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	100	78	117	92	13	13,54	4,15
		2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	99	78	117	92	13	13,51	3,92
		3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	97	76	117	92	13	13,60	4,62
1007	T1 início	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	113	89	128	100	13	13,42	3,23
		2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	112	88	127	99	13	13,50	3,85
		3	1,27	1,27	1,27	0,00	1,27	109	86	125	99	13	13,48	3,69
	T2 início	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	114	89	130	102	13	13,48	3,69
		2	1,27	1,27	1,27	0,00	1,27	112	88	130	103	13	13,53	4,08
		3	1,27	1,27	1,27	0,00	1,27	114	90	128	101	13	13,54	4,15
	T3 meio	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	114	89	127	99	13	13,53	4,08
		2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	114	89	128	100	13	13,52	4,00
		3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	109	85	125	98	13	13,54	4,15
	T4 fim	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	119	93	132	103	13	13,45	3,46
		2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	119	93	132	103	13	13,44	3,38
		3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	120	94	134	105	13	13,48	3,69
	T5 fim	1	1,27	1,27	1,27	0,00	1,27	117	92	132	104	13	13,48	3,69
		2	1,27	1,27	1,27	0,00	1,27	116	92	133	105	13	13,52	4,00
		3	1,27	1,27	1,27	0,00	1,27	115	91	131	103	13	13,49	3,77

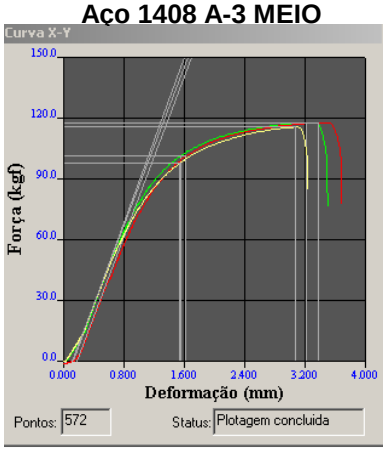
Aço 1408 A-1 INÍCIO



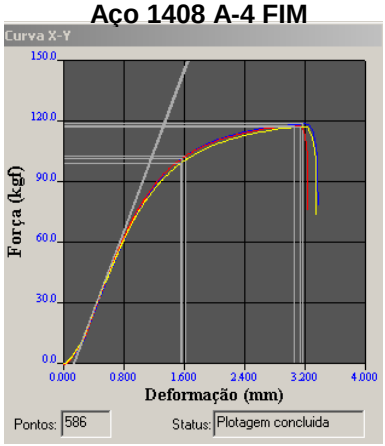
Aço 1408 A-2 INÍCIO



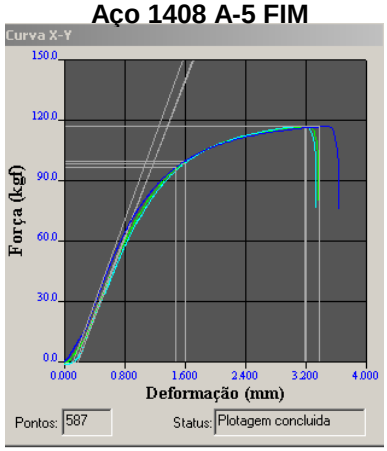
Aço 1408 A-3 MEIO



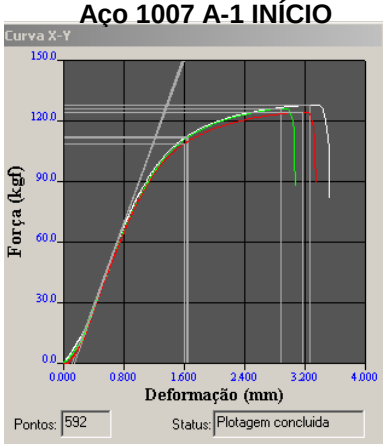
Aço 1408 A-4 FIM



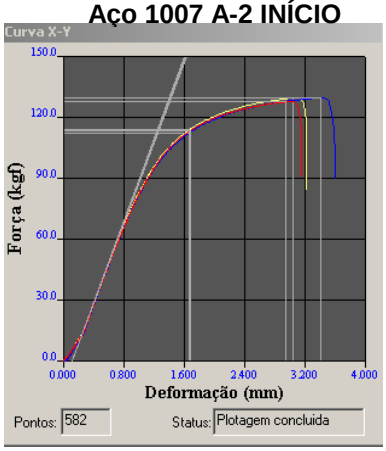
Aço 1408 A-5 FIM



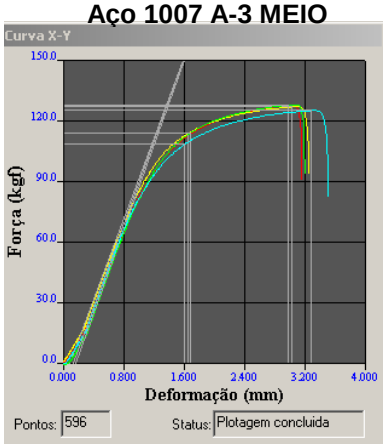
Aço 1007 A-1 INÍCIO



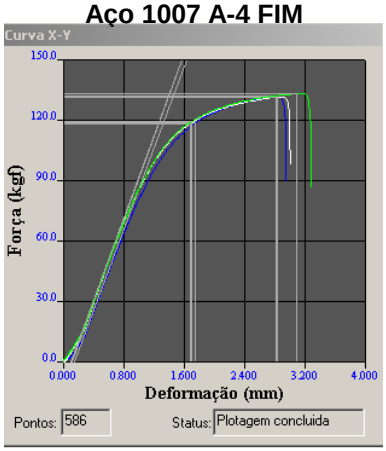
Aço 1007 A-2 INÍCIO



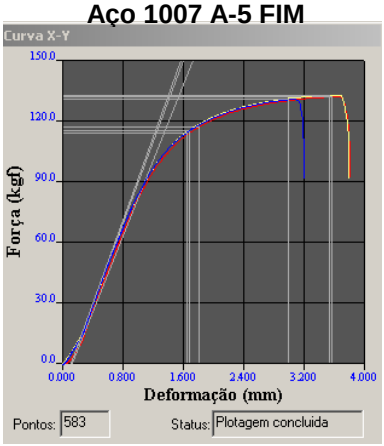
Aço 1007 A-3 MEIO



Aço 1007 A-4 FIM



Aço 1007 A-5 FIM



Arame Galvanizado Aço 1408

AÇO	AMOSTRA	ENSAIO	∅ MÍN. [mm]	∅ MÁX. [mm]	∅ MÉD. [mm]	OVALIZ. [mm]	So [mm2]	Fe [Kgf]	Le [Kgf/mm2]	Fr [Kgf]	Lr [Kgf/mm2]	Lo [mm]	Lf [mm]	A [%]
V=45m/min	A1 início	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	47	37	60	47	13	16,48	26,77
		2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	48	38	60	47	13	16,96	30,46
		3	1,27	1,29	1,28	0,02	1,29	48	37	61	47	13	16,66	28,15
	A2 início	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	48	38	60	47	13	16,69	28,38
		2	1,27	1,29	1,28	0,02	1,29	48	37	60	47	13	16,39	26,08
		3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	48	38	61	48	13	16,64	28,00
	A3 meio	1	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	49	38	62	48	13	16,69	28,38
		2	1,28	1,30	1,29	0,02	1,31	48	37	61	47	13	16,66	28,15
		3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	48	38	60	47	13	16,50	26,92
	A4 fim	1	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	48	37	61	47	13	16,52	27,08
		2	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	48	37	60	46	13	16,39	26,08
		3	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	48	37	60	46	13	16,37	25,92
	A5 fim	1	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	47	36	60	46	13	16,66	28,15
		2	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	47	36	60	46	13	16,69	28,38
		3	1,28	1,30	1,29	0,02	1,31	48	37	60	46	13	16,38	26,00
V=90m/min	A1 início	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	51	40	62	49	13	16,39	26,08
		2	1,27	1,29	1,28	0,02	1,29	51	40	62	48	13	16,64	28,00
		3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	51	40	62	49	13	16,46	26,62
	A2 início	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	51	40	62	49	13	16,59	27,62
		2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	52	41	62	49	13	16,37	25,92
		3	1,27	1,29	1,28	0,02	1,29	51	40	62	48	13	16,38	26,00
	A3 meio	1	1,26	1,27	1,27	0,01	1,26	51	41	62	49	13	16,34	25,69
		2	1,26	1,27	1,27	0,01	1,26	51	41	62	49	13	16,43	26,38
		3	1,26	1,26	1,26	0,00	1,25	51	41	62	50	13	16,37	25,92
	A4 fim	1	1,26	1,27	1,27	0,01	1,26	51	41	62	49	13	16,31	25,46
		2	1,26	1,27	1,27	0,01	1,26	51	41	62	49	13	16,61	27,77
		3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	51	40	62	49	13	16,30	25,38
	A5 fim	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	51	40	63	49	13	16,38	26,00
		2	1,26	1,27	1,27	0,01	1,26	51	41	63	50	13	16,49	26,85
		3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	51	40	63	49	13	16,25	25,00

OBSERVAÇÕES:

So = Seção transversal (mm²).

Fe = (Força de escoamento) - Carga máxima aplicada sobre a seção transversal até o início da deformação plástica.

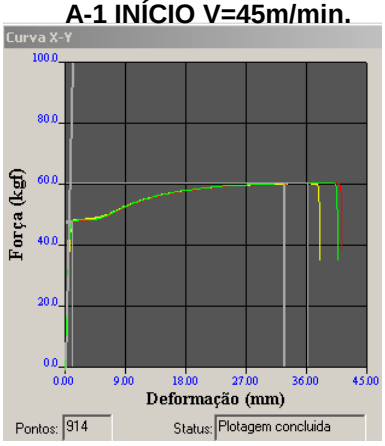
Fr = (Força de resistência) - Carga máxima aplicada sobre a seção transversal até a ruptura.

Le = (Limite de escoamento) - Tensão máxima aplicada na seção transversal (Kgf/mm²) no início da deformação plástica.

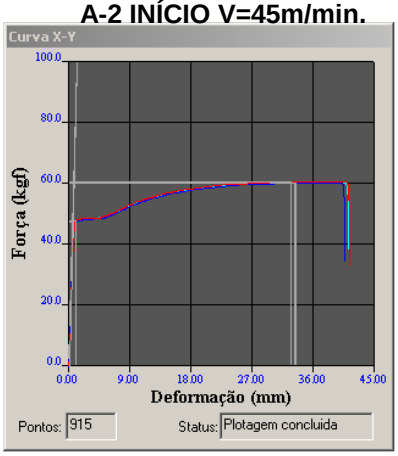
Lr = (Limite de resistência) - Tensão máxima aplicada na seção transversal (Kgf/mm²).

A = Alongamento após ruptura.

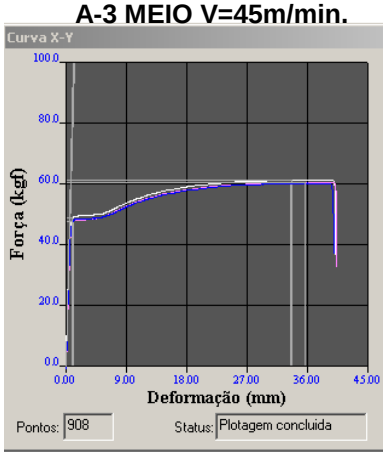
A-1 INÍCIO V=45m/min.



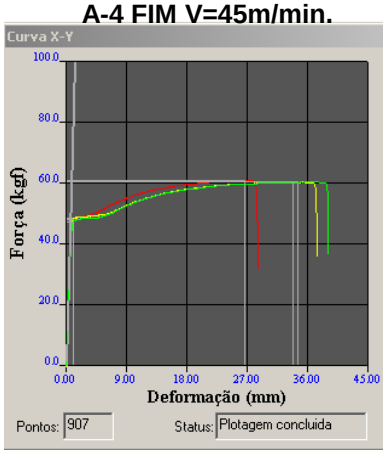
A-2 INÍCIO V=45m/min.



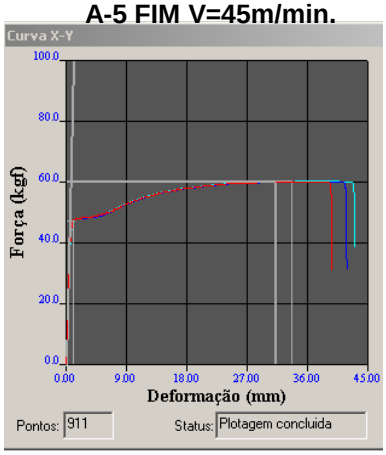
A-3 MEIO V=45m/min.



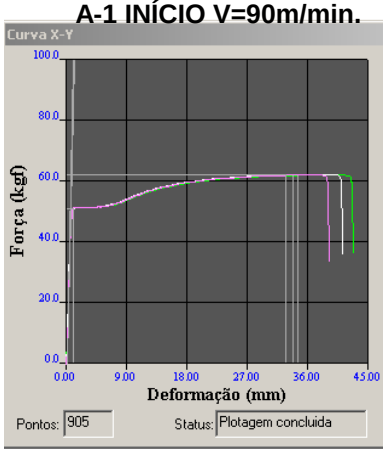
A-4 FIM V=45m/min.



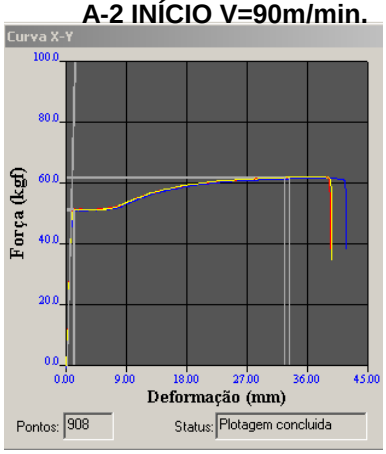
A-5 FIM V=45m/min.



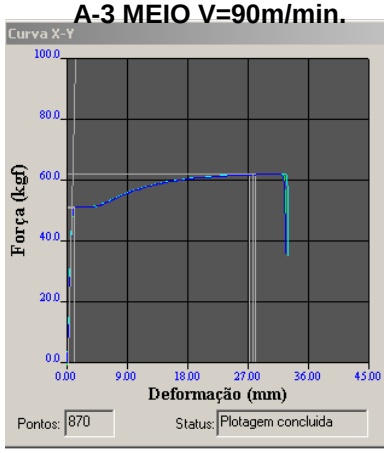
A-1 INÍCIO V=90m/min.



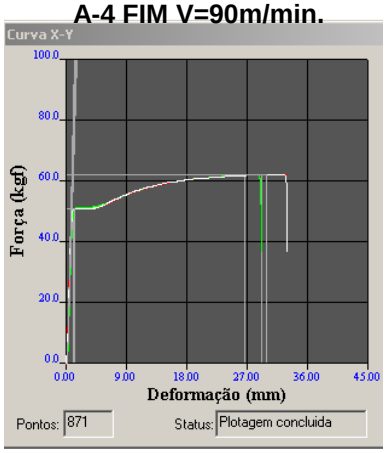
A-2 INÍCIO V=90m/min.



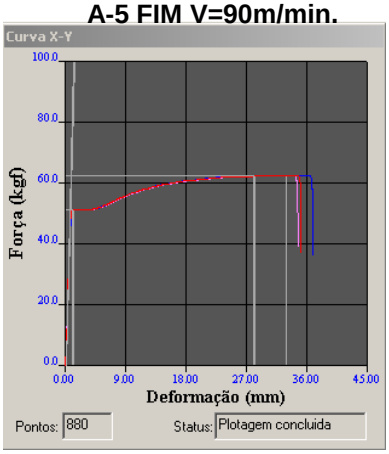
A-3 MEIO V=90m/min.



A-4 FIM V=90m/min.



A-5 FIM V=90m/min.



Arame Galvanizado Aço 1007

AÇO	AMOSTRA	ENSAIO	∅ MÍN. [mm]	∅ MÁX. [mm]	∅ MÉD. [mm]	OVALIZ. [mm]	So [mm2]	Fe [Kgf]	Le [Kgf/mm2]	Fr [Kgf]	Lr [Kgf/mm2]	Lo [mm]	Lf [mm]	A [%]
V=45m/min	A1 início	1	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	50	39	63	49	13	17,10	31,54
		2	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	50	39	63	49	13	16,95	30,38
		3	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	50	39	63	49	13	17,39	33,77
	A2 início	1	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	50	39	63	49	13	17,22	32,46
		2	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	49	38	63	49	13	16,83	29,46
		3	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	49	38	63	49	13	17,11	31,62
	A3 meio	1	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	53	41	66	51	13	16,62	27,85
		2	1,28	1,30	1,29	0,02	1,31	53	41	66	50	13	16,58	27,54
		3	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	53	41	66	51	13	16,73	28,69
	A4 fim	1	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	53	41	66	51	13	16,79	29,15
		2	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	52	40	66	51	13	16,36	25,85
		3	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	52	40	66	51	13	16,47	26,69
	A5 fim	1	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	54	41	66	51	13	16,71	28,54
		2	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	53	41	66	51	13	16,68	28,31
		3	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	53	41	66	51	13	16,86	29,69
V=90m/min	A1 início	1	1,26	1,27	1,27	0,01	1,26	53	43	66	52	13	16,09	23,77
		2	1,26	1,27	1,27	0,01	1,26	54	43	65	52	13	16,03	23,31
		3	1,26	1,26	1,26	0,00	1,25	53	43	66	53	13	15,82	21,69
	A2 início	1	1,26	1,27	1,27	0,01	1,26	54	43	65	52	13	15,72	20,92
		2	1,26	1,27	1,27	0,01	1,26	54	43	66	52	13	16,02	23,23
		3	1,26	1,27	1,27	0,01	1,26	54	43	65	52	13	15,75	21,15
	A3 meio	1	1,26	1,26	1,26	0,00	1,25	56	45	67	54	13	15,41	18,54
		2	1,25	1,27	1,26	0,02	1,25	56	45	67	54	13	15,40	18,46
		3	1,25	1,26	1,26	0,01	1,24	56	45	67	54	13	15,38	18,31
	A4 fim	1	1,25	1,26	1,26	0,01	1,24	57	46	67	55	13	15,05	15,77
		2	1,25	1,25	1,25	0,00	1,23	56	46	67	55	13	15,02	15,54
		3	1,24	1,25	1,25	0,01	1,22	56	46	67	55	13	14,99	15,31
	A5 fim	1	1,24	1,25	1,25	0,01	1,22	57	47	67	55	13	14,80	13,85
		2	1,24	1,25	1,25	0,01	1,22	57	47	67	55	13	14,82	14,00
		3	1,25	1,26	1,26	0,01	1,24	57	46	68	55	13	14,86	14,31

OBSERVAÇÕES:

So = Seção transversal (mm²).

Fe = (Força de escoamento) - Carga máxima aplicada sobre a seção transversal até o início da deformação plástica.

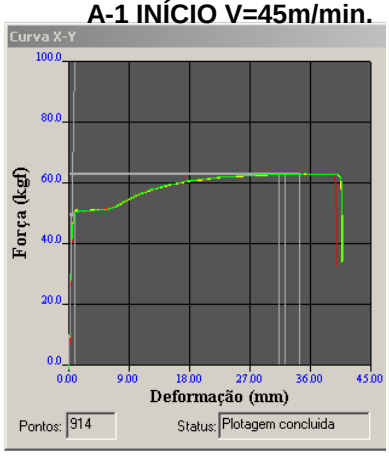
Fr = (Força de resistência) - Carga máxima aplicada sobre a seção transversal até a ruptura.

Le = (Limite de escoamento) - Tensão máxima aplicada na seção transversal (Kgf/mm²) no início da deformação plástica.

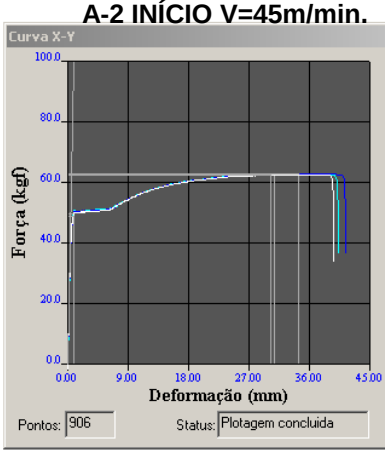
Lr = (Limite de resistência) - Tensão máxima aplicada na seção transversal (Kgf/mm²).

A = Alongamento após ruptura.

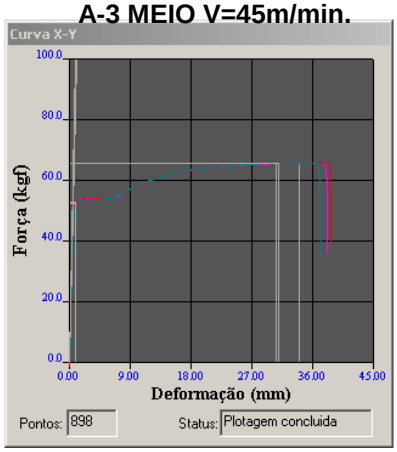
A-1 INÍCIO V=45m/min.



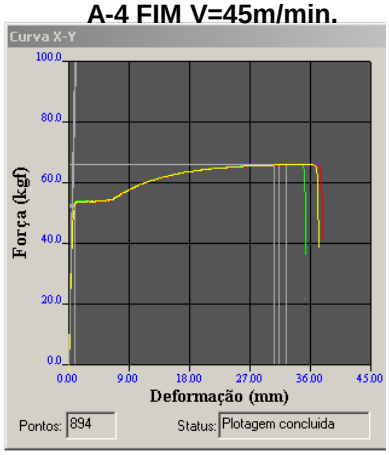
A-2 INÍCIO V=45m/min.



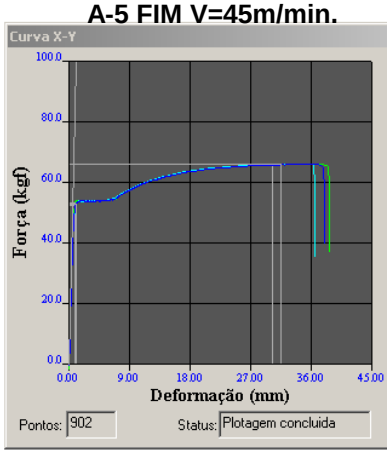
A-3 MEIO V=45m/min.



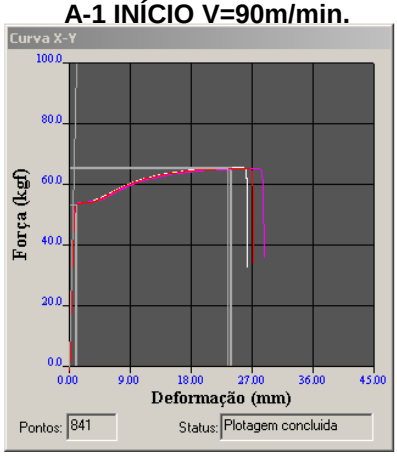
A-4 FIM V=45m/min.



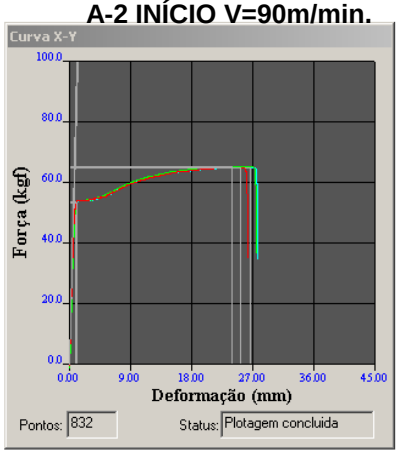
A-5 FIM V=45m/min.



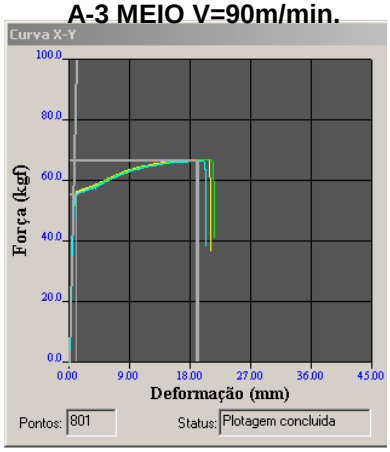
A-1 INÍCIO V=90m/min.



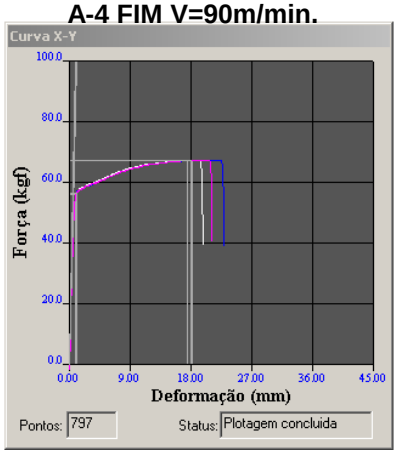
A-2 INÍCIO V=90m/min.



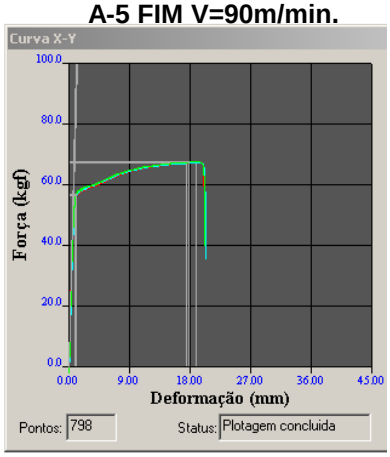
A-3 MEIO V=90m/min.



A-4 FIM V=90m/min.



A-5 FIM V=90m/min.



Arame Galvanizado do Aço 1408 (Lr.)

IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRA	ENSAIO	Ø MÍN. [mm]	Ø MÁX. [mm]	Ø MÉD. [mm]	OVALIZ. [mm]	So [mm²]	Fr [kgf]	Lr [kgf/mm²]
AÇO 1408 V=45m/min.	Amostra 1 início	1	1,27	1,29	1,28	0,02	1,29	60	47
		2	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	60	46
		3	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	60	46
	Amostra 2 início	1	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	60	46
		2	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	60	46
		3	1,27	1,29	1,28	0,02	1,29	60	47
	Amostra 3 meio	1	1,27	1,29	1,28	0,02	1,29	60	47
		2	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	60	46
		3	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	60	47
	Amostra 4 fim	1	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	60	46
		2	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	60	46
		3	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	60	47
	Amostra 5 fim	1	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	60	46
		2	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	60	46
		3	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	60	46
AÇO 1408 V=90m/min.	Amostra 1 início	1	1,27	1,29	1,28	0,02	1,29	62	48
		2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	62	49
		3	1,27	1,29	1,28	0,02	1,29	62	48
	Amostra 2 início	1	1,27	1,29	1,28	0,02	1,29	61	47
		2	1,27	1,29	1,28	0,02	1,29	62	48
		3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	62	49
	Amostra 3 meio	1	1,26	1,27	1,27	0,01	1,26	61	49
		2	1,26	1,27	1,27	0,01	1,26	61	49
		3	1,26	1,27	1,27	0,01	1,26	61	49
	Amostra 4 fim	1	1,26	1,28	1,27	0,02	1,27	61	48
		2	1,26	1,27	1,27	0,01	1,26	61	49
		3	1,26	1,27	1,27	0,01	1,26	61	49
	Amostra 5 fim	1	1,26	1,27	1,27	0,01	1,26	61	49
		2	1,27	1,27	1,27	0,00	1,27	61	48
		3	1,26	1,27	1,27	0,01	1,26	61	49

OBSERVAÇÃO:

So = Seção transversal (mm²).

Fr = (Força de resistência) - Carga máxima aplicada sobre a seção transversal até a ruptura.

Lr = (Limite de resistência) - Tensão máxima aplicada na seção transversal (Kgf/mm²).

Arame Galvanizado do Aço 1007 (Lr.)

IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRA	ENSAIO	∅ MÍN. [mm]	∅ MÁX. [mm]	∅ MÉD. [mm]	OVALIZ. [mm]	So [mm²]	Fr [kgf]	Lr [kgf/mm²]
AÇO 1007 V=45m/min.	Amostra 1 início	1	1,28	1,31	1,30	0,03	1,32	63	48
		2	1,28	1,30	1,29	0,02	1,31	63	48
		3	1,27	1,30	1,29	0,03	1,30	63	49
	Amostra 2 início	1	1,28	1,30	1,29	0,02	1,31	63	48
		2	1,28	1,30	1,29	0,02	1,31	63	48
		3	1,28	1,30	1,29	0,02	1,31	63	48
	Amostra 3 meio	1	1,28	1,30	1,29	0,02	1,31	65	50
		2	1,28	1,30	1,29	0,02	1,31	66	50
		3	1,28	1,30	1,29	0,02	1,31	66	50
	Amostra 4 fim	1	1,28	1,30	1,29	0,02	1,31	66	50
		2	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	66	51
		3	1,27	1,29	1,28	0,02	1,29	66	51
	Amostra 5 fim	1	1,27	1,29	1,28	0,02	1,29	66	51
		2	1,28	1,30	1,29	0,02	1,31	66	50
		3	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	66	51
AÇO 1007 V=90m/min.	Amostra 1 início	1	1,26	1,29	1,28	0,03	1,28	64	50
		2	1,26	1,28	1,27	0,02	1,27	64	51
		3	1,26	1,27	1,27	0,01	1,26	64	51
	Amostra 2 início	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	63	49
		2	1,26	1,28	1,27	0,02	1,27	64	51
		3	1,26	1,27	1,27	0,01	1,26	64	51
	Amostra 3 meio	1	1,26	1,26	1,26	0,00	1,25	65	52
		2	1,26	1,26	1,26	0,00	1,25	65	52
		3	1,26	1,26	1,26	0,00	1,25	65	52
	Amostra 4 fim	1	1,25	1,26	1,26	0,01	1,24	65	53
		2	1,25	1,27	1,26	0,02	1,25	65	52
		3	1,25	1,26	1,26	0,01	1,24	65	53
	Amostra 5 fim	1	1,25	1,25	1,25	0,00	1,23	65	53
		2	1,25	1,26	1,26	0,01	1,24	65	53
		3	1,25	1,26	1,26	0,01	1,24	65	53

OBSERVAÇÃO:

So = Seção transversal (mm²).

Fr = (Força de resistência) - Carga máxima aplicada sobre a seção transversal até a ruptura.

Lr = (Limite de resistência) - Tensão máxima aplicada na seção transversal (Kgf/mm²).

2.2 Microdureza (HV)

FM

AMOSTRA	PONTO	FM SR - Aço 1007		FM AM - Aço 1408	
		Transversal	Longitudinal	Transversal	Longitudinal
1 início	1	131	127	110	113
	2	123	125	111	118
	3	121	129	113	110
2 início	1	127	122	114	112
	2	129	130	116	115
	3	126	128	116	110
3 meio	1	130	131	146	139
	2	133	132	130	135
	3	128	130	125	144
4 fim	1	126	119	125	117
	2	121	122	125	118
	3	123	128	122	125
5 fim	1	124	127	143	121
	2	124	124	135	117
	3	125	124	118	121

Arame Trefilado

AMOSTRA AÇO 1007	PONTO	Longitudinal	AMOSTRA AÇO 1408	PONTO	Longitudinal
T1 início	1	271	T1 início	1	259
	2	282		2	260
	3	283		3	258
T2 início	1	290	T2 início	1	279
	2	283		2	274
	3	285		3	280
T3 meio	1	271	T3 meio	1	269
	2	273		2	264
	3	278		3	269
T4 fim	1	293	T4 fim	1	256
	2	294		2	277
	3	274		3	268
T5 fim	1	292	T5 fim	1	273
	2	297		2	265
	3	296		3	259

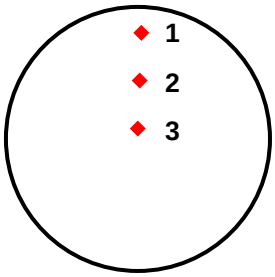
Arame Galvanizado V=45m/min.

AMOSTRA AÇO 1007 V=45m/min.	PONTO	Transversal	Longitudinal	AMOSTRA AÇO 1408 V=45m/min.	PONTO	Transversal	Longitudinal
A1 início	1	165	156	A1 início	1	172	154
	2	155	150		2	160	156
	3	157	163		3	154	146
A2 início	1	164	156	A2 início	1	144	148
	2	155	171		2	146	154
	3	153	168		3	162	150
A3 meio	1	180	159	A3 meio	1	152	154
	2	172	160		2	143	159
	3	162	186		3	150	151
A4 fim	1	179	164	A4 fim	1	146	162
	2	163	165		2	148	158
	3	162	165		3	154	148
A5 fim	1	154	161	A5 fim	1	161	149
	2	161	162		2	157	144
	3	160	165		3	167	145

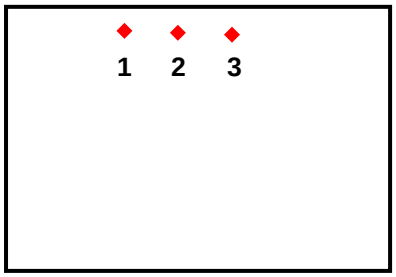
Arame Galvanizado V=90m/min.

AMOSTRA AÇO 1007 V=90m/min.	PONTO	Transversal	Longitudinal	AMOSTRA AÇO 1408 V=90m/min.	PONTO	Transversal	Longitudinal
A1 início	1	181	166	A1 início	1	157	150
	2	172	168		2	159	152
	3	164	171		3	159	157
A2 início	1	175	169	A2 início	1	150	168
	2	159	173		2	160	163
	3	169	176		3	154	167
A3 meio	1	183	173	A3 meio	1	160	164
	2	187	181		2	157	165
	3	170	186		3	177	168
A4 fim	1	177	185	A4 fim	1	160	164
	2	173	180		2	160	154
	3	182	191		3	159	165
A5 fim	1	185	190	A5 fim	1	166	158
	2	193	185		2	180	160
	3	177	186		3	167	173

OBSERVAÇÃO: Distribuição dos pontos.



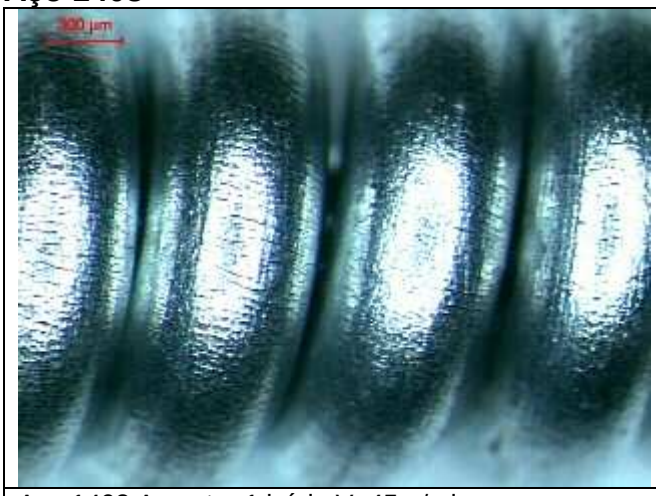
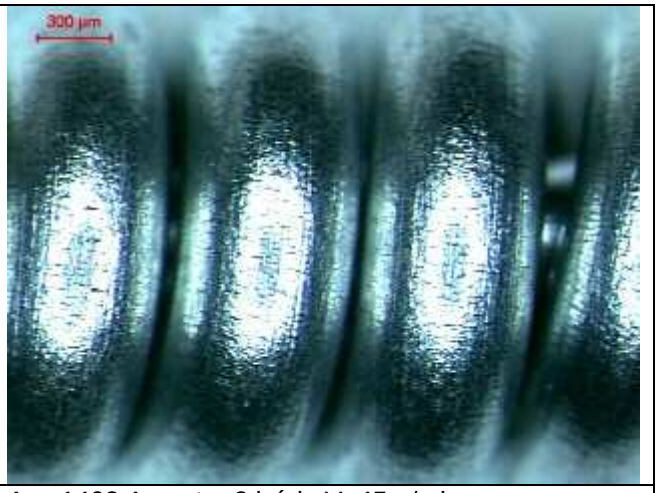
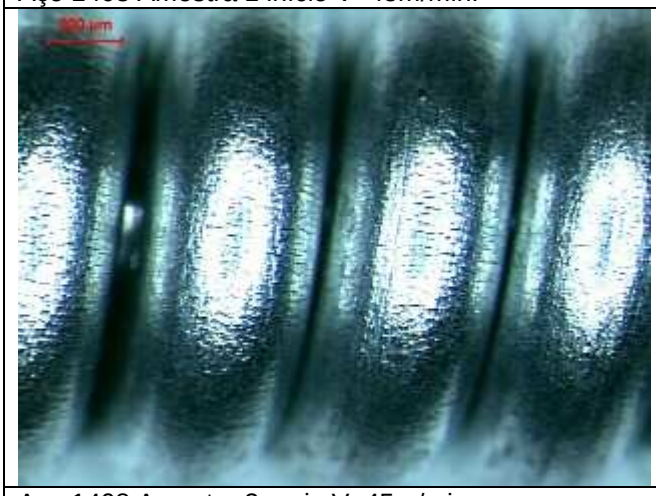
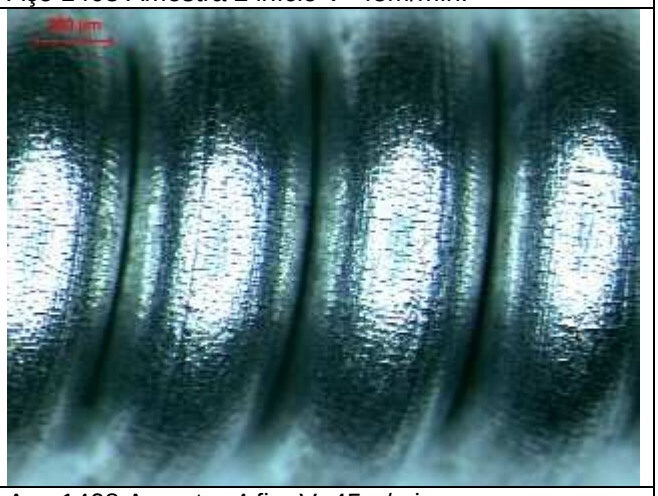
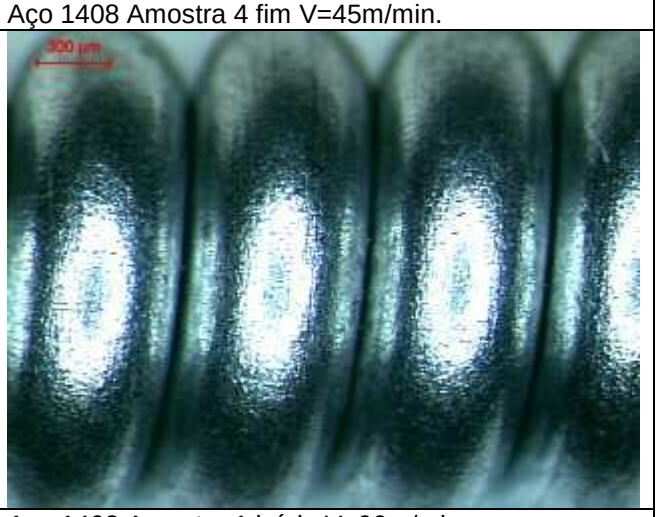
Perfil: Transversal

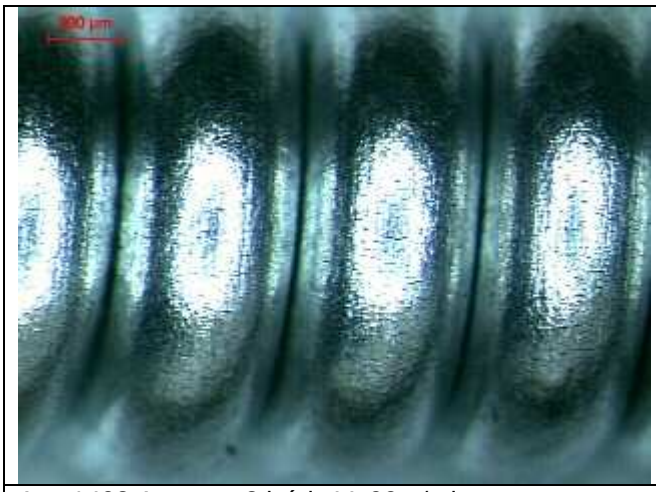
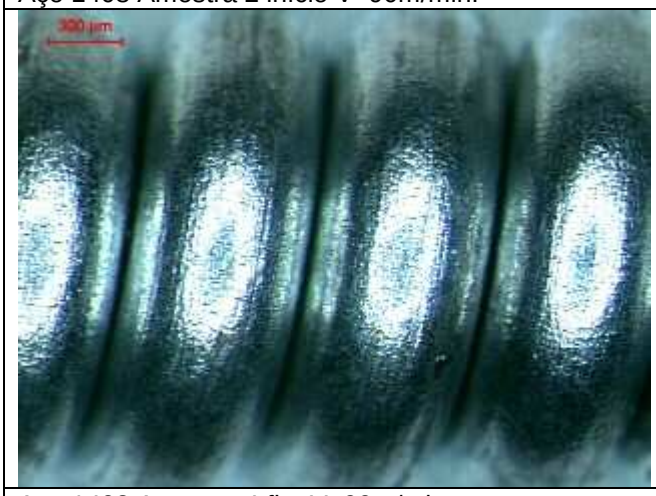
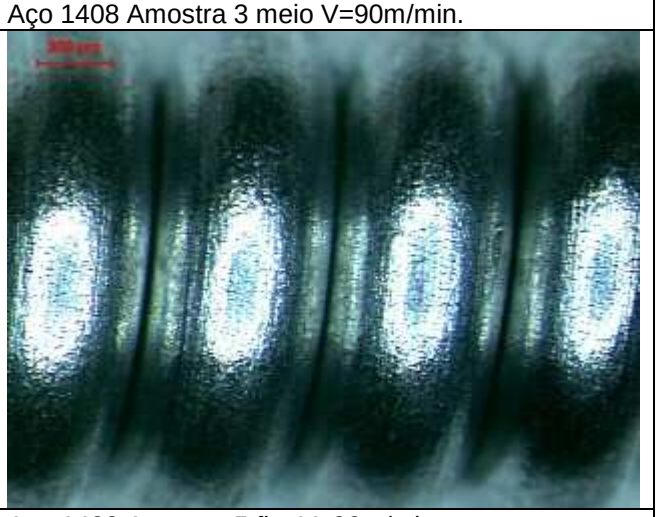


Perfil: Longitudinal

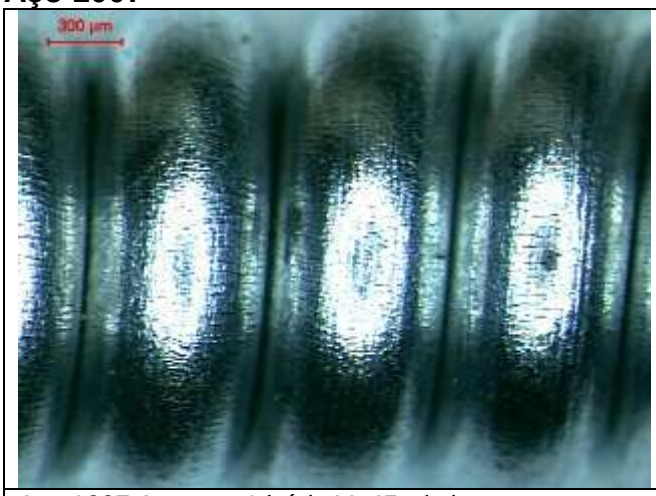
2.3 Ensaio de Enrolamento.

Aço 1408

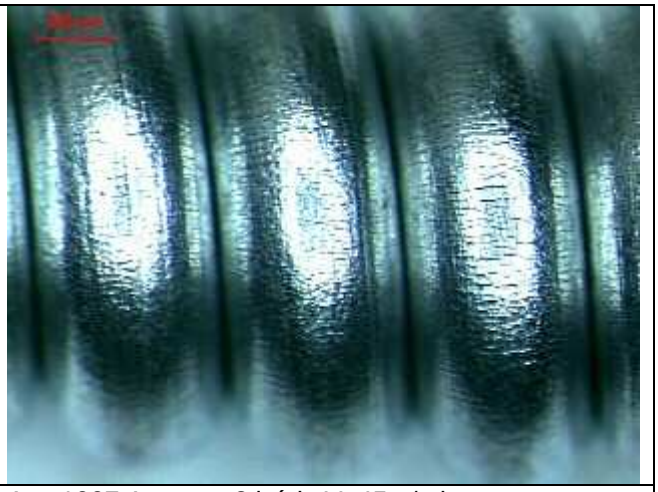
	
Aço 1408 Amostra 1 início V=45m/min.	Aço 1408 Amostra 2 início V=45m/min.
	
Aço 1408 Amostra 3 meio V=45m/min.	Aço 1408 Amostra 4 fim V=45m/min.
	
Aço 1408 Amostra 5 fim V=45m/min.	Aço 1408 Amostra 1 início V=90m/min.

	
Aço 1408 Amostra 2 início V=90m/min.	Aço 1408 Amostra 3 meio V=90m/min.
	
Aço 1408 Amostra 4 fim V=90m/min.	Aço 1408 Amostra 5 fim V=90m/min.

Aço 1007

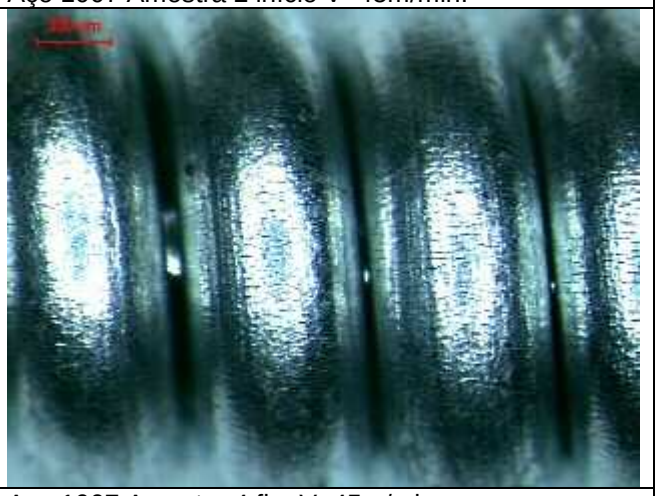


Aço 1007 Amostra 1 início V=45m/min.

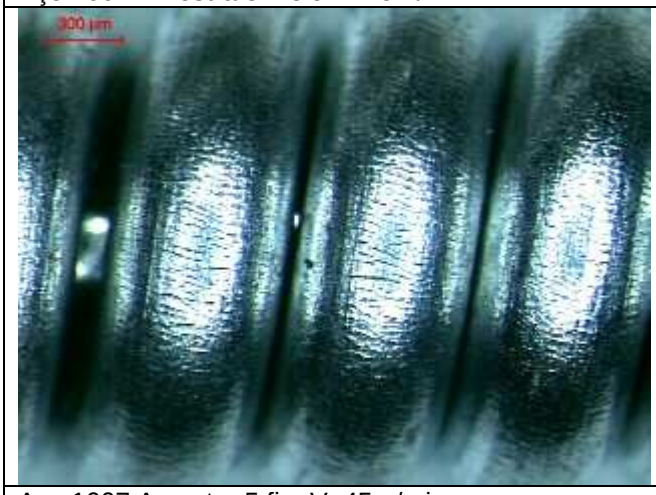


Aço 1007 Amostra 2 início V=45m/min.

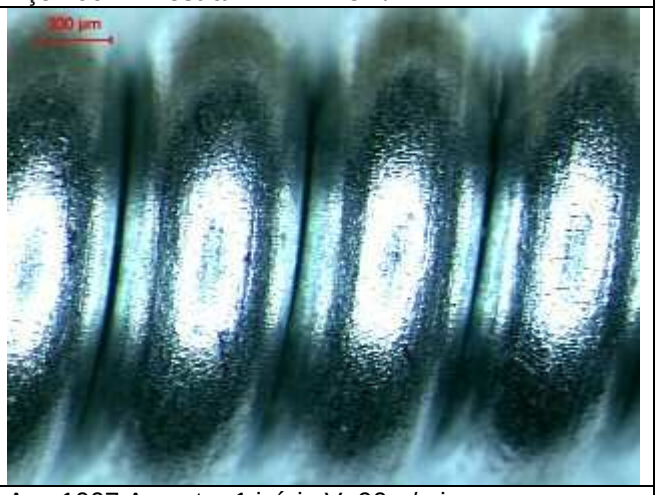
Aço 1007 Amostra 3 meio V=45m/min.



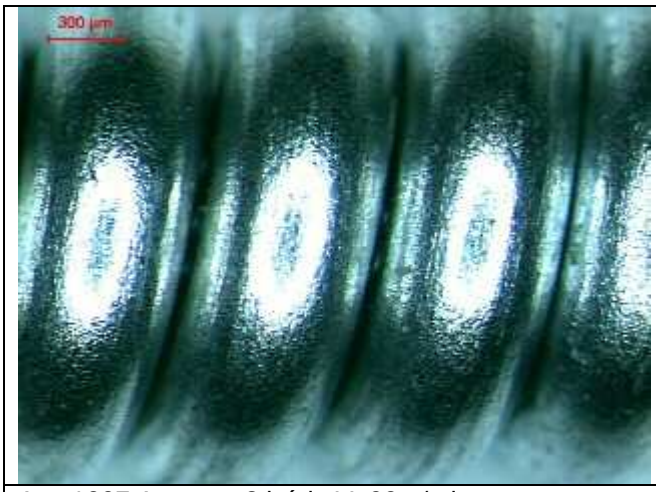
Aço 1007 Amostra 4 fim V=45m/min.



Aço 1007 Amostra 5 fim V=45m/min.

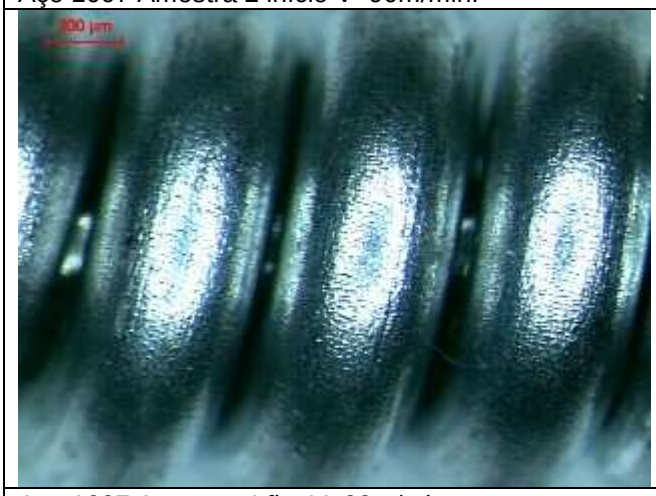


Aço 1007 Amostra 1 início V=90m/min.

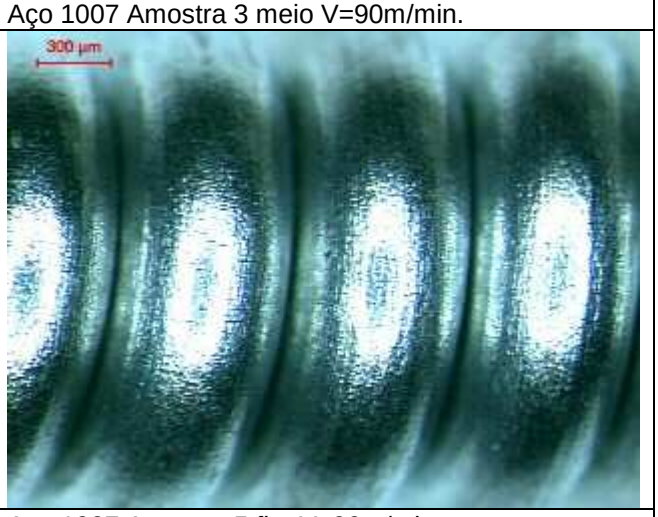


Aço 1007 Amostra 2 início V=90m/min.

Aço 1007 Amostra 3 meio V=90m/min.



Aço 1007 Amostra 4 fim V=90m/min.



Aço 1007 Amostra 5 fim V=90m/min.

2.4 Camada de Zinco

Arame Galvanizado do Aço 1408

Identificação		Camada Zn (g/m²)
V=45m/min	Amostra 1 início	84,05
	Amostra 2 início	84,68
	Amostra 3 meio	84,19
	Amostra 4 fim	86,46
	Amostra 5 fim	85,42
V=90m/min	Amostra 1 início	64,97
	Amostra 2 início	53,64
	Amostra 3 meio	58,08
	Amostra 4 fim	50,67
	Amostra 5 fim	51,17

Arame Galvanizado do Aço 1007

Identificação		Camada Zn (g/m²)
V=45m/min	Amostra 1 início	86,27
	Amostra 2 início	77,92
	Amostra 3 meio	85,30
	Amostra 4 fim	78,32
	Amostra 5 fim	84,36
V=90m/min	Amostra 1 início	50,43
	Amostra 2 início	57,64
	Amostra 3 meio	51,83
	Amostra 4 fim	53,46
	Amostra 5 fim	54,57

,

2.5 Composição Química

FM 1408

C [%]	Mn [%]	Si [%]	S [%]	P [%]	Cu [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	Sn [%]	V [%]	Nb [%]	B [%]	N2 [ppm]
0,08	0,53	0,23	0,007	0,018	0,074	0,010	0,022	0,001	0,007	0,001	0,002	0,0045	73

FM 1007

C [%]	Mn [%]	Si [%]	S [%]	P [%]	Cu [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	Sn [%]	V [%]	Nb [%]	B [%]	N2 [ppm]
0,05	0,51	0,16	0,013	0,026	0,036	0,015	0,015	0,002	0,002	0,001	0,001	0,0005	33

2.5.1 Consideração Final

Quanto à composição Química

Através da análise química realizada nas amostras de FM 1408 e 1007, verificamos que o material atende a especificação química designada aos aços GG 1408-E e GG 1007-F, respectivamente.

Especificação Química do aço GG 1408-E

C [%]	Mn [%]	Si[%]	S [%]	P [%]	Cu [%]	Cr [%]	Ni [%]	Sn [%]	N2 [ppm]
- 0,08	0,30 0,60	0,15 0,25	- 0,025	- 0,020	- 0,100	- 0,060	- 0,060	- 0,030	- 100

Especificação Química do aço GG 1007-F

C [%]	Mn [%]	Si[%]	S [%]	P [%]	Cu [%]	Cr [%]	Ni [%]	Sn [%]	N2 [ppm]
- 0,08	0,35 0,55	0,13 0,20	- 0,030	- 0,035	- 0,080	- 0,050	- 0,050	- 0,010	- 60

2.6 Microestrutura

2.6.1 FM 5,50mm – URS aço 1007

a) Secção Transversal

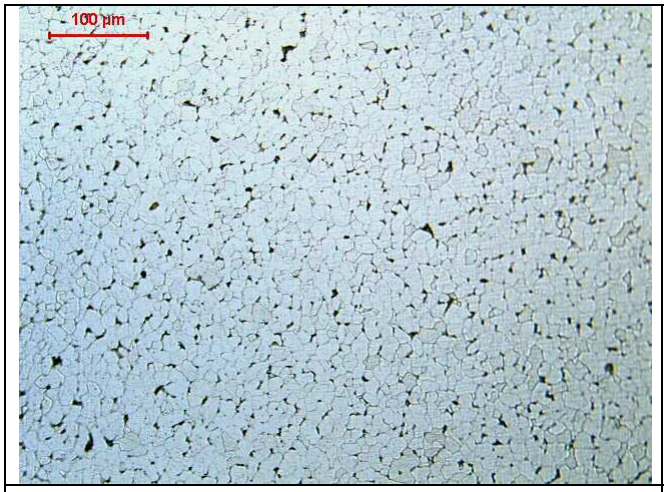


Figura 1 – Amostra 1 inicio – TG 10. 200x

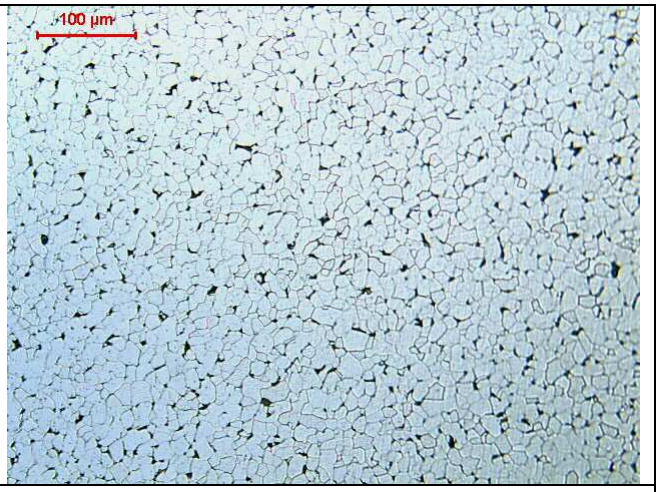


Figura 2 – Amostra 2 inicio – TG 10. 200x

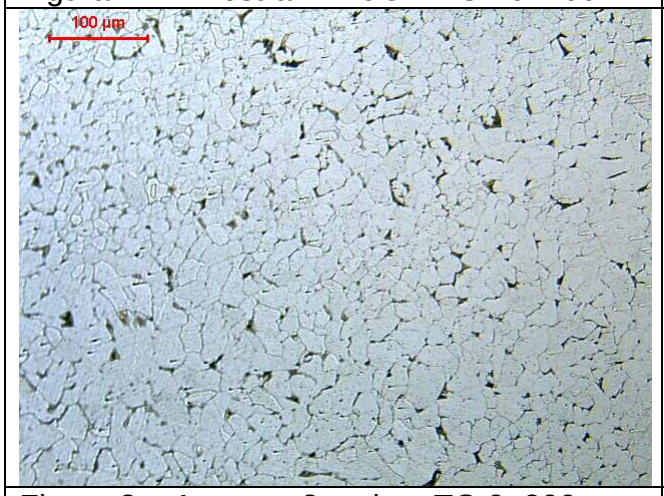


Figura 3 – Amostra 3 meio – TG 9. 200x

Figura 4 – Amostra 4 fim – TG 9-10. 200x

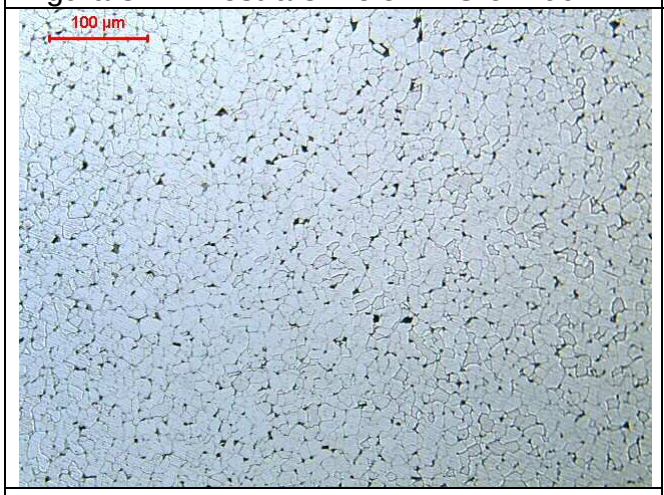


Figura 5 – Amostra 5 fim – TG 9-10. 200x

b) Secção Longitudinal

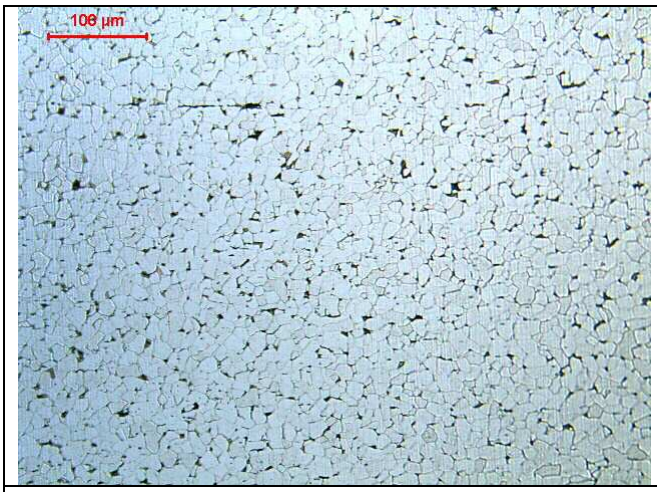


Figura 1 – Amostra 1 inicio – TG 9. 200x

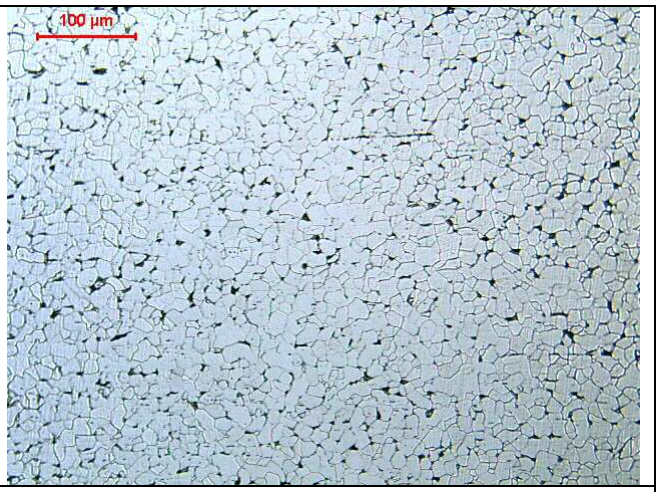


Figura 2 – Amostra 2 inicio – TG 8-9. 200x

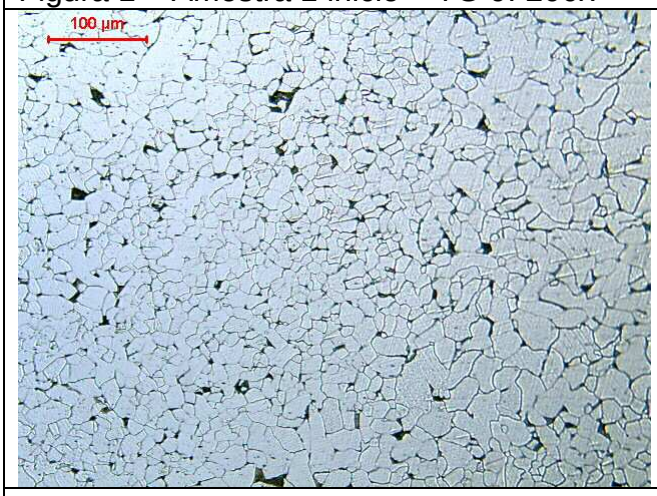


Figura 3 – Amostra 3 meio – TG 7-8. 200x

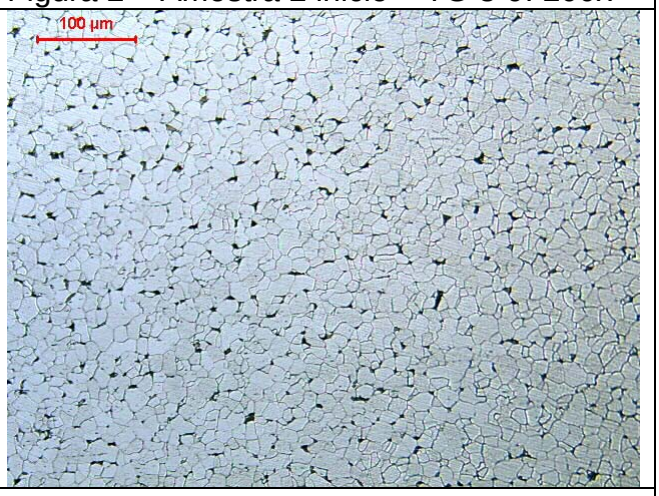


Figura 4 – Amostra 4 fim – TG 9. 200x

Figura 5 – Amostra 5 fim – TG 9. 200x

2.6.2 Arame Trefilado – URS aço 1007

a) Secção Longitudinal

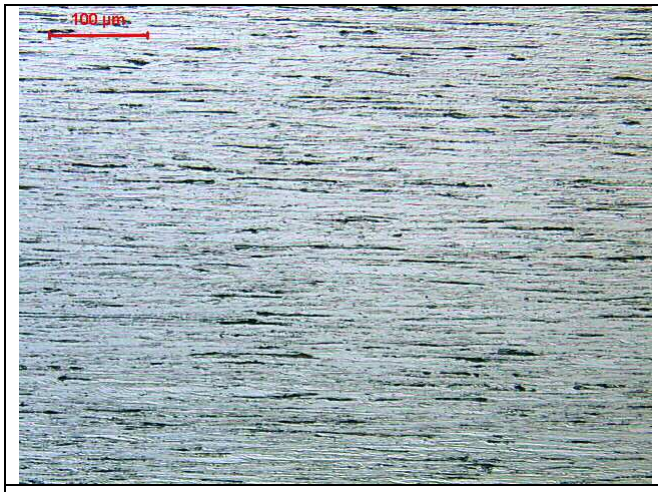


Figura 1 – Amostra T1 inicio. 200x

Figura 2 – Amostra T2 inicio. 200x

Figura 3 – Amostra T3 meio. 200x

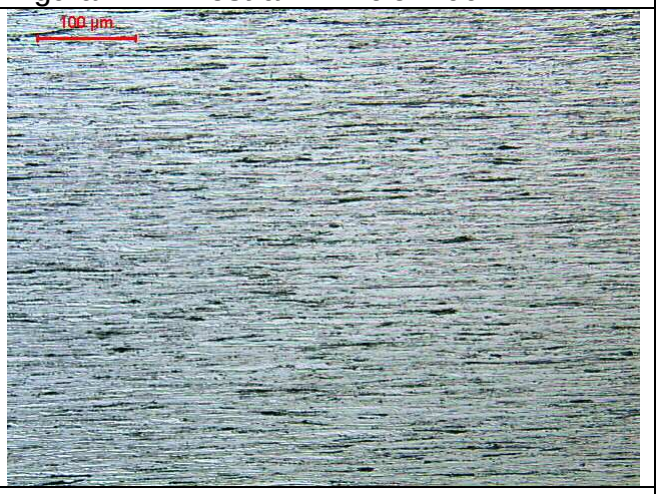


Figura 4 – Amostra T4 fim. 200x

Figura 5 – Amostra T5 fim. 200x

2.6.3 Arame Galvanizado – URS aço 1007

a) V45 - Secção Transversal

Figura 1 – Amostra A1 inicio: TG10. 500x

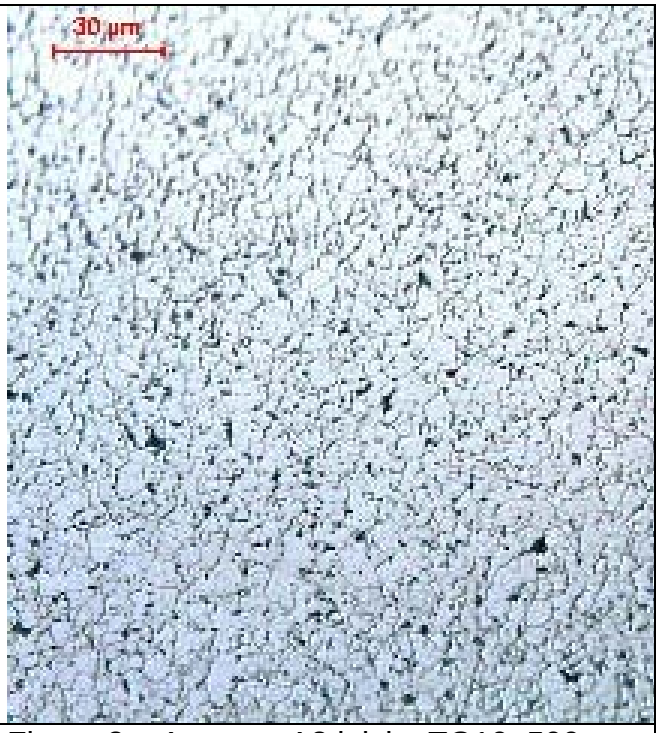


Figura 2 – Amostra A2 inicio: TG10. 500x

Figura 3 – Amostra A3 meio: TG10. 500x

Figura 4 – Amostra A4 fim: TG10. 500x

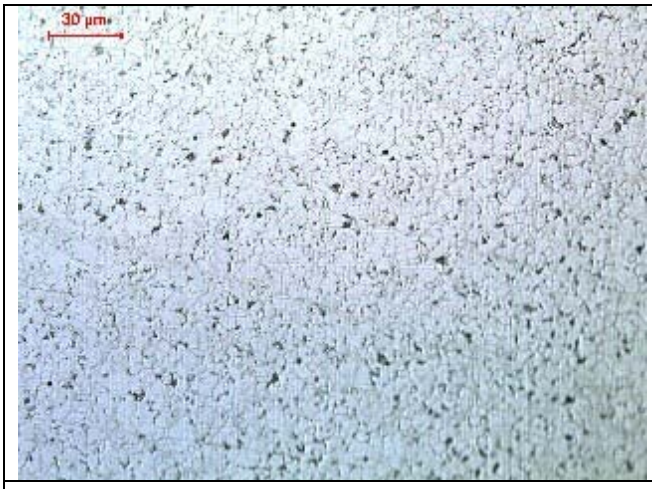


Figura 5 – Amostra A5 fim. 500x

b) V45 - Secção Longitudinal

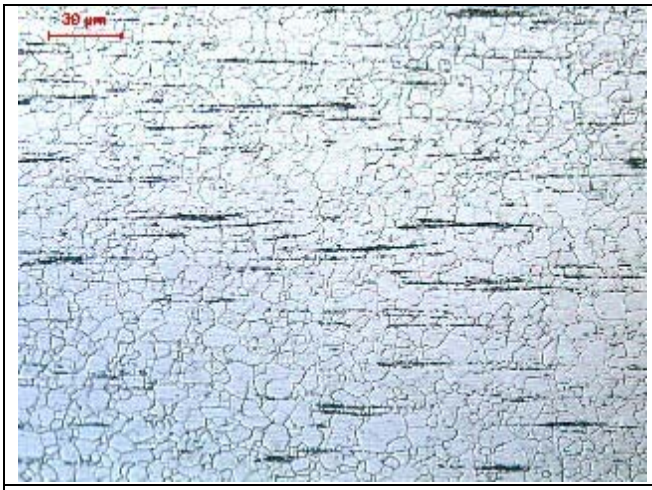


Figura 1 – Amostra A1 inicio. 500x

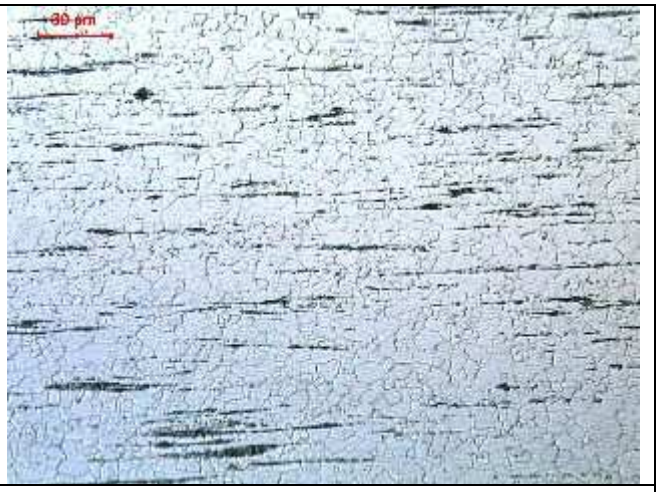


Figura 2 – Amostra A2 inicio. 500x

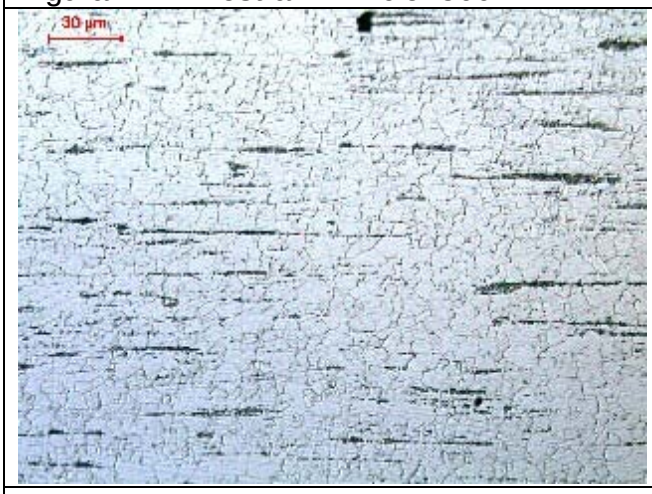


Figura 3 – Amostra A3 meio. 500x

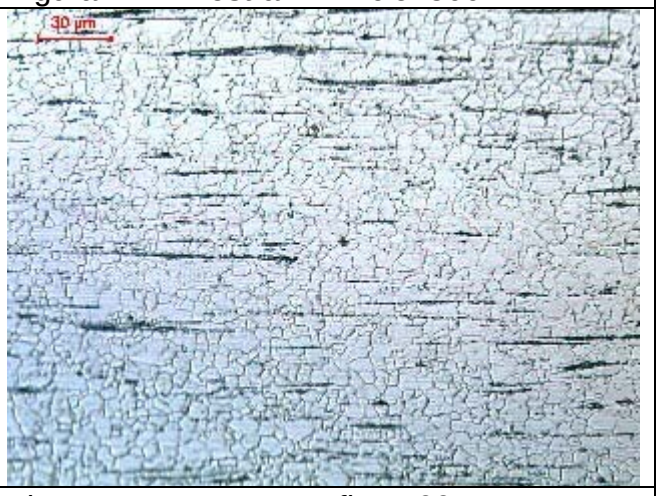


Figura 4 – Amostra A4 fim. 500x

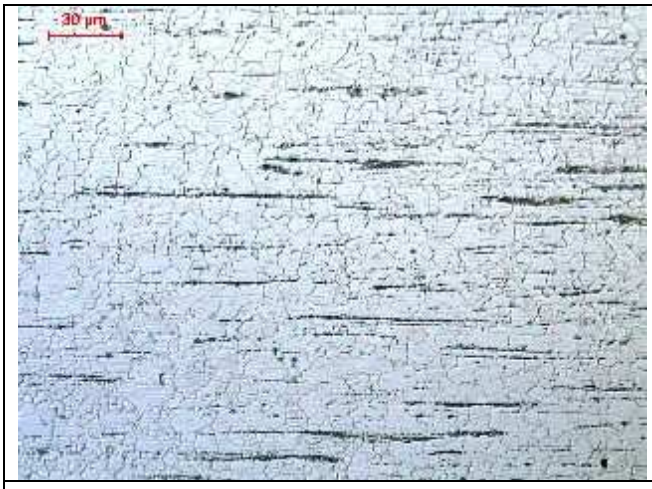


Figura 5 – Amostra A5 fim. 500x

c) V90 - Secção Transversal

Figura 1 – Amostra A1 inicio: TG10. 500x

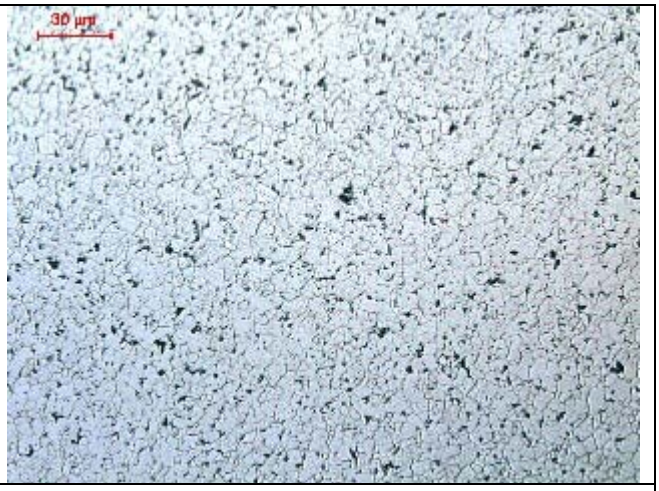


Figura 2 – Amostra A2 inicio: TG10. 500x

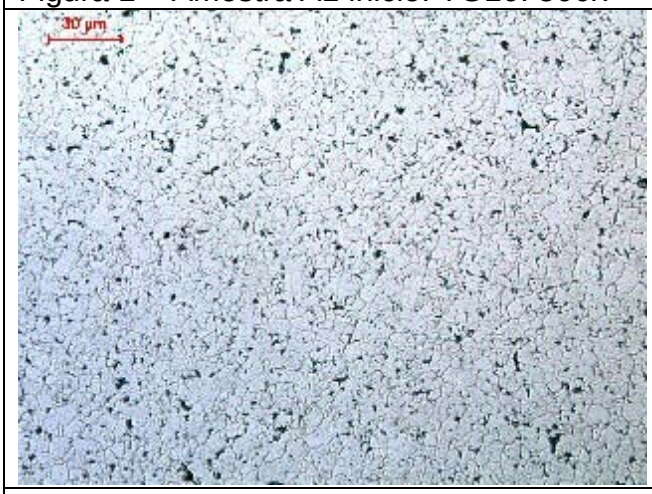


Figura 3 – Amostra A3 meio: TG10. 500x

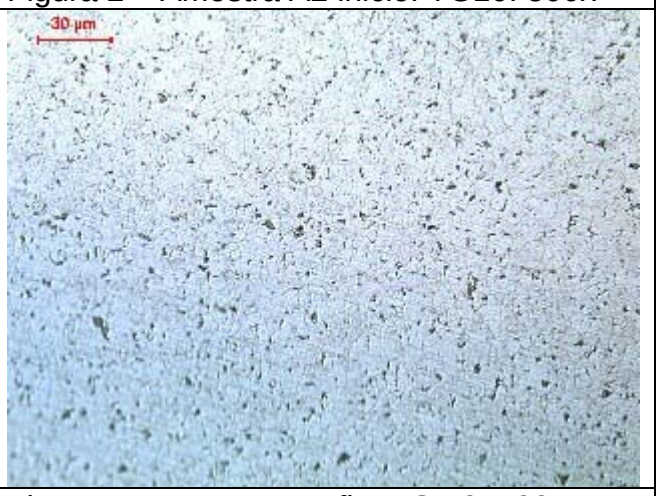


Figura 4 – Amostra A4 fim:TG 10. 500x

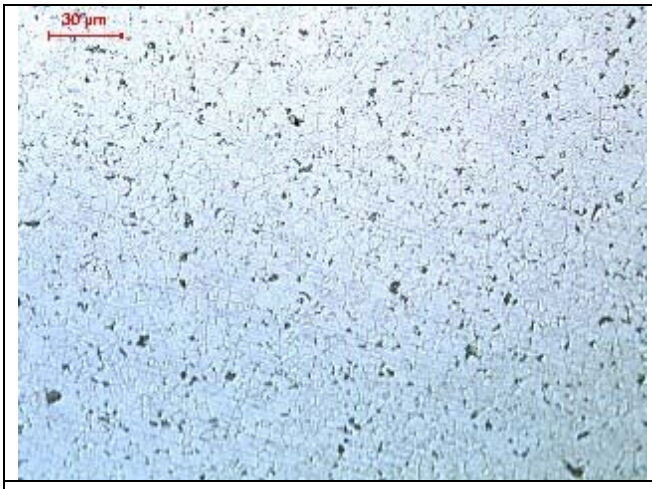


Figura 5 – Amostra A5 fim: TG10. 500x

d) V90 - Secção Longitudinal

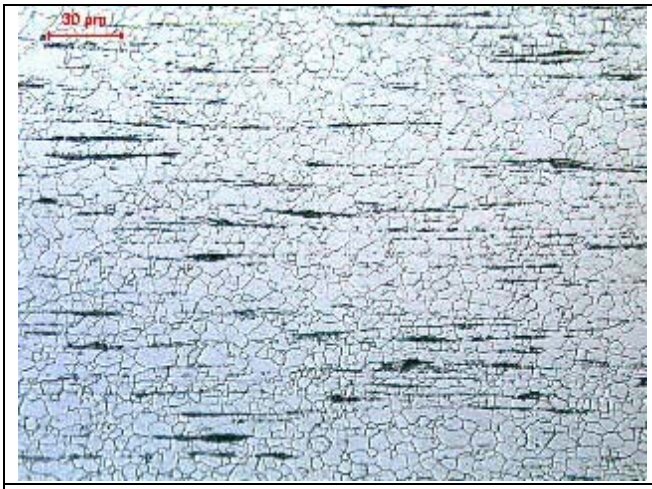


Figura 1 – Amostra A1 inicio. 500x

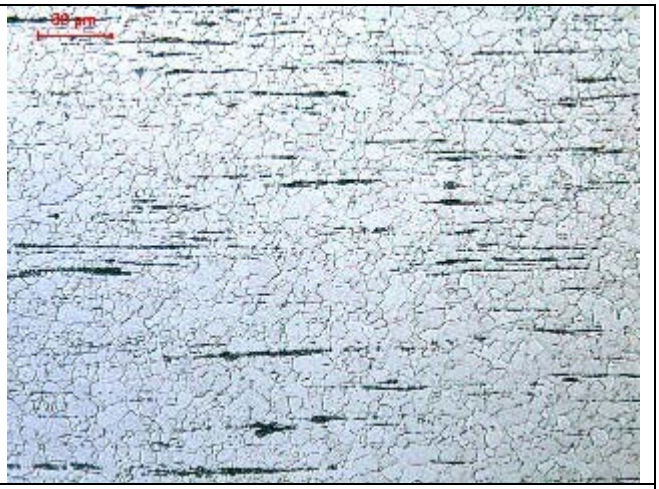


Figura 2 – Amostra A2 inicio. 500x

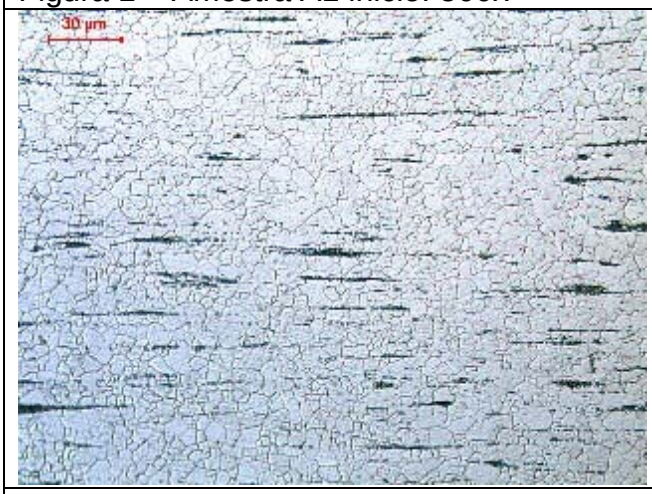


Figura 3 – Amostra A3 meio. 500x

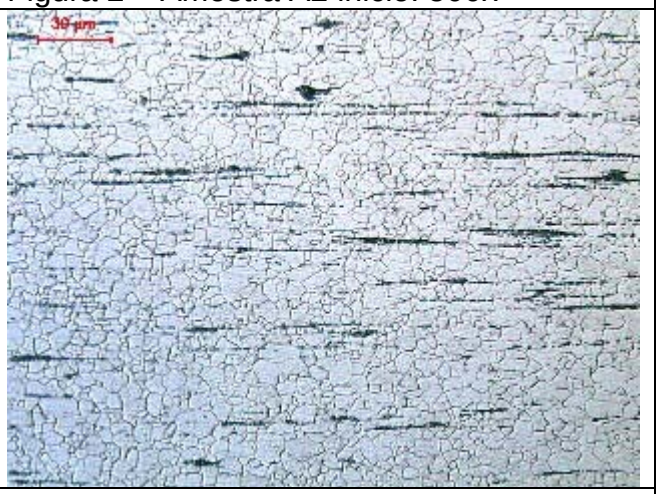


Figura 4 – Amostra A4 fim. 500x

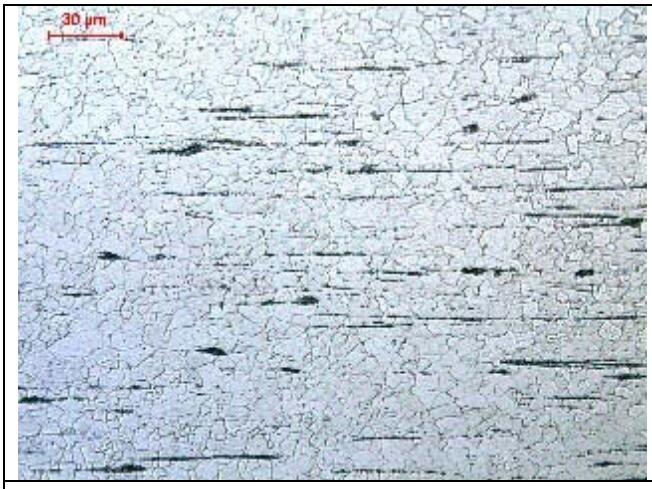


Figura 5 – Amostra A5 fim. 500x

2.7.1 FM 5,50mm – URS aço 1408

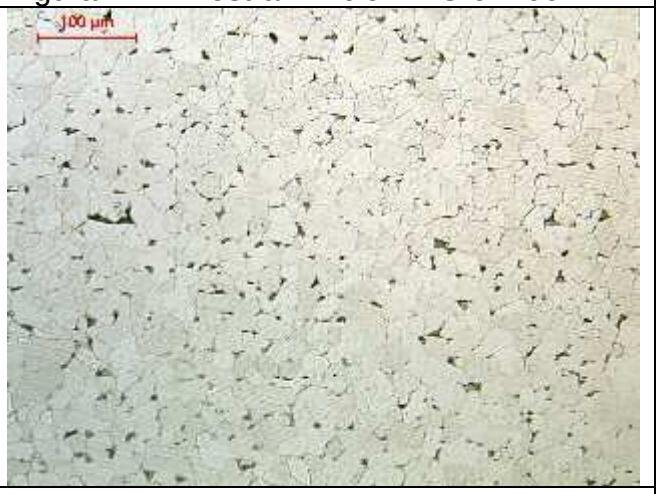
a) Secção Transversal

Figura 1 – Amostra 1 inicio – TG 8-9. 200x

Figura 2 – Amostra 2 inicio – TG 9. 200x

Figura 3 – Amostra 3 meio – TG 7. 200x	Figura 4 – Amostra 4 fim – TG 8. 200x
Figura 5 – Amostra 5 fim – TG 8. 200x	

b) Secção Longitudinal

Figura 1 – Amostra 1 inicio – TG 8-9. 200x	Figura 2 – Amostra 2 incio – TG 9. 200x
	
Figura 3 – Amostra 3 meio – TG 7. 200x	Figura 4 – Amostra 4 fim – TG 8. 200x

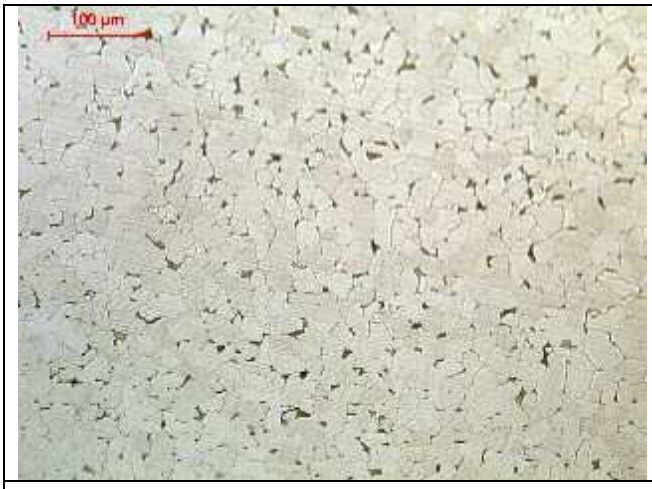


Figura 5 – Amostra 5 fim – TG 8. 200x

2.7.2 Arame Trefilado – URS aço 1408

a) Secção Longitudinal

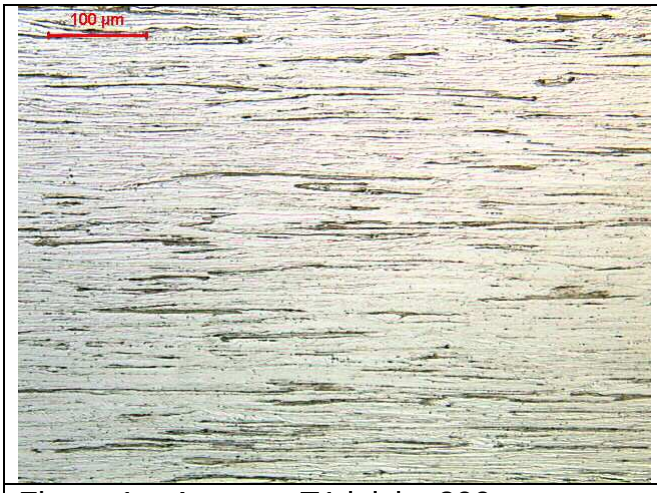


Figura 1 – Amostra T1 inicio. 200x

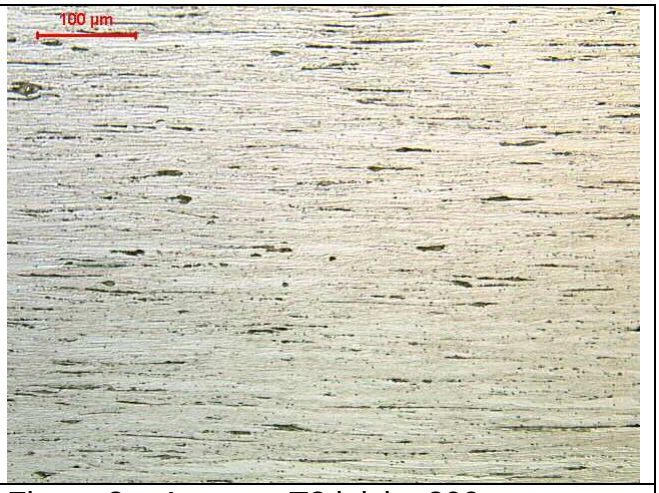
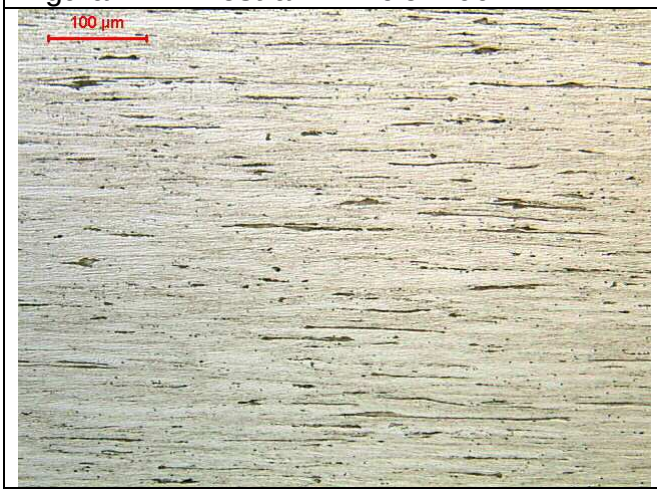


Figura 2 – Amostra T2 inicio. 200x



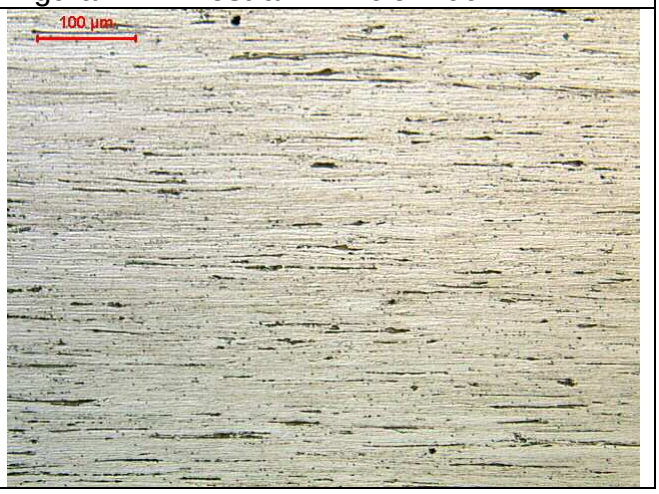


Figura 3 – Amostra T3 meio. 200x	Figura 4 – Amostra T4 fim. 200x

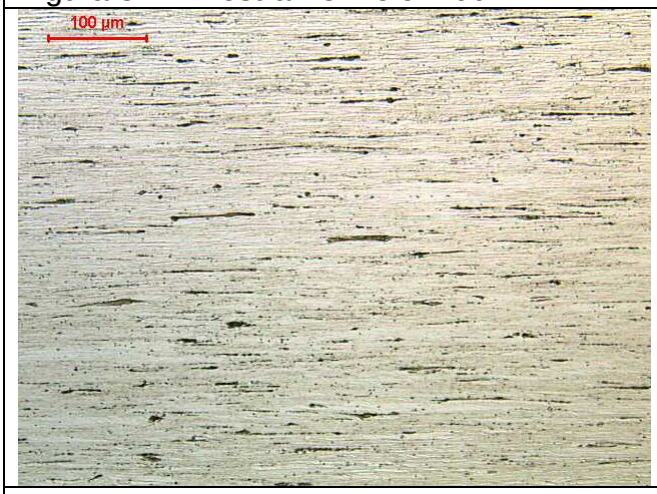



Figura 5 – Amostra T5 fim. 200x	

2.7.3 Arame Galvanizado – URS aço 1408

a) V45 - Secção Transversal

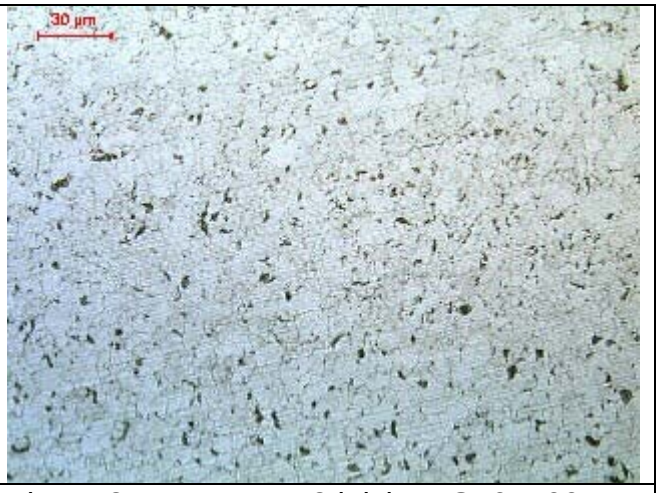
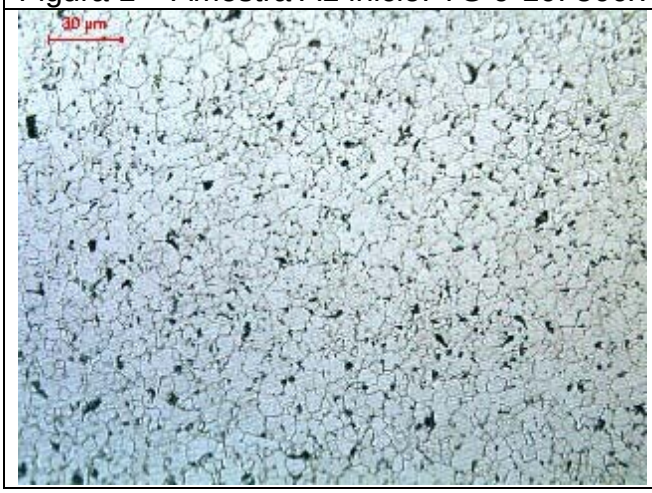
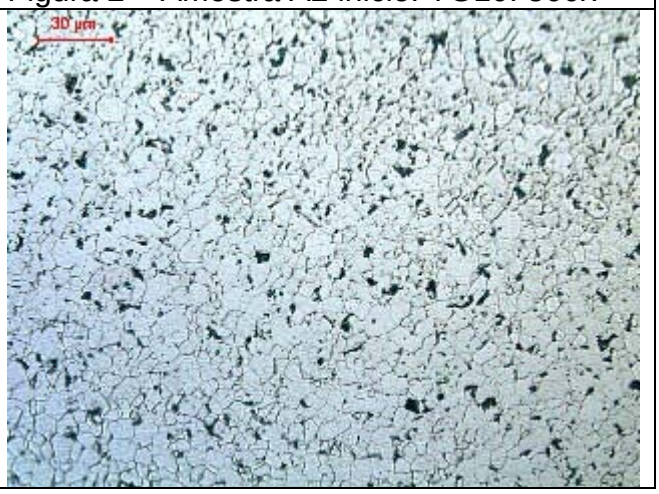
	
Figura 1 – Amostra A1 inicio: TG 9-10. 500x	Figura 2 – Amostra A2 inicio: TG10. 500x
	

Figura 3 – Amostra A3 meio: TG10. 500x	Figura 4 – Amostra A4 fim: TG10. 500x

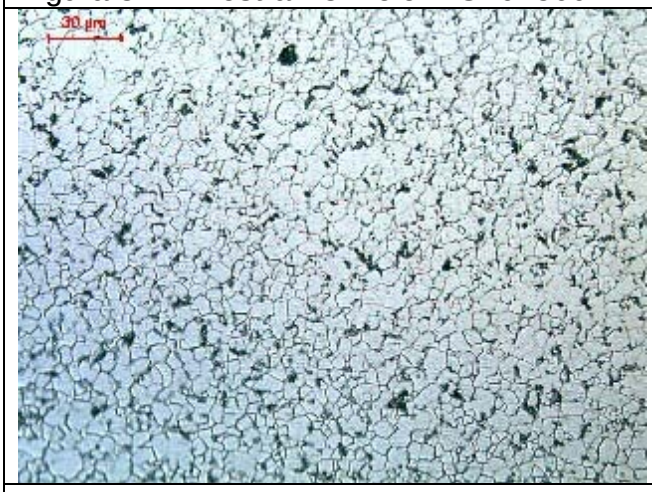



Figura 5 – Amostra A5 fim: TG10. 500x	

b) V45 - Secção Longitudinal

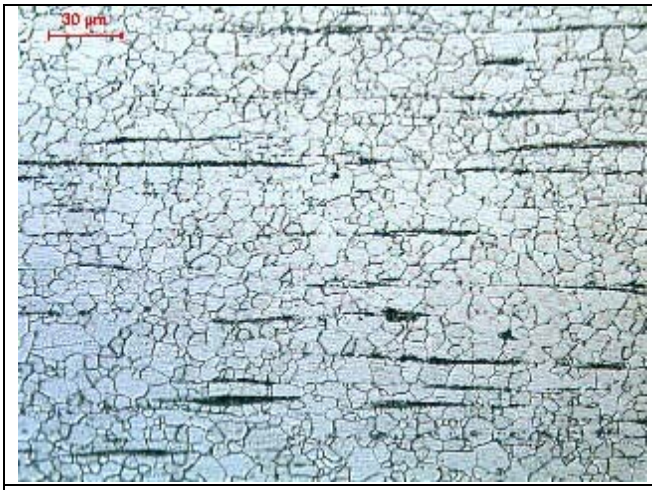
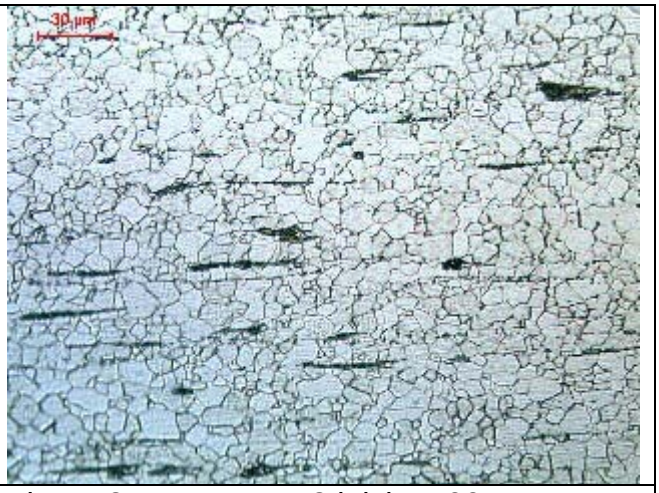
	

Figura 1 – Amostra A1 inicio. 500x	Figura 2 – Amostra A2 inicio. 500x

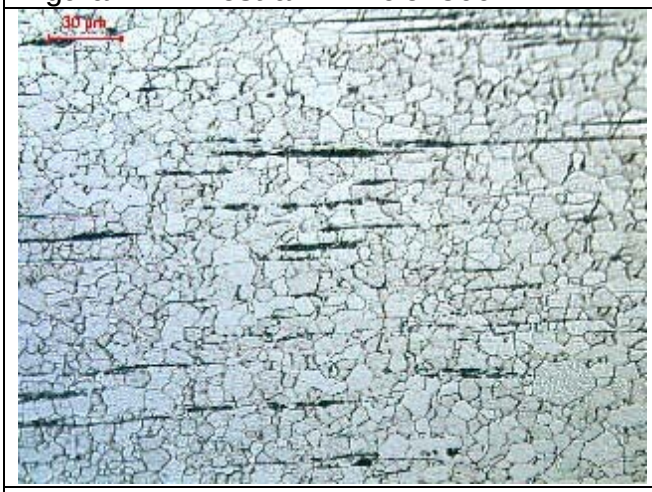
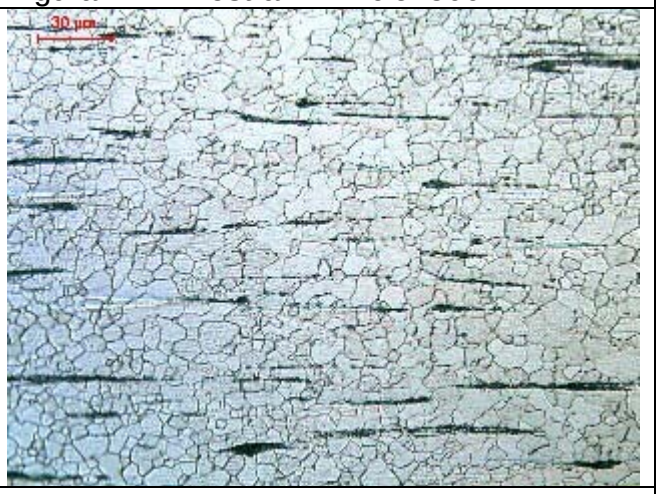

	

Figura 3 – Amostra A3 meio. 500x	Figura 4 – Amostra A4 fim. 500x

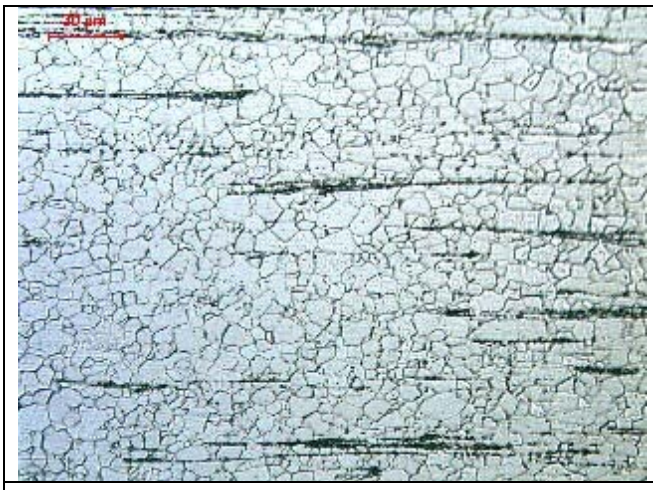


Figura 5 – Amostra A5 fim. 500x

c) V90 - Secção Transversal

Figura 1 – Amostra A1 inicio: TG 10. 500x

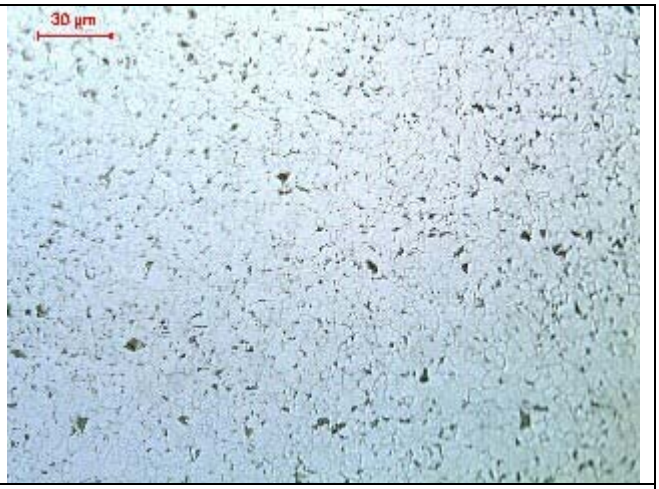


Figura 2 – Amostra A2 inicio: TG10. 500x

Figura 3 – Amostra A3 meio: TG10. 500x

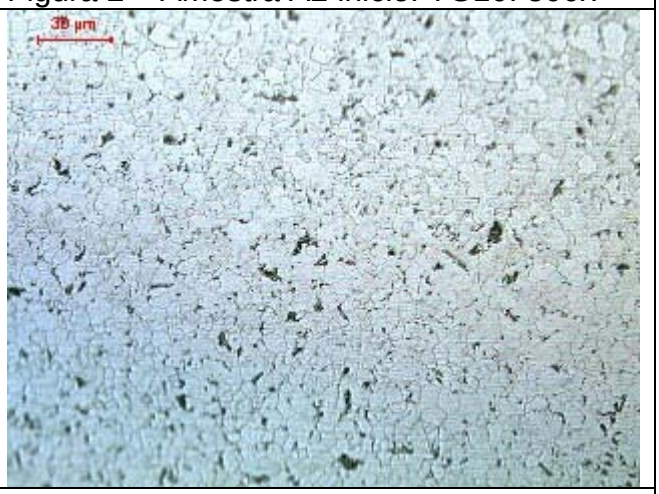


Figura 4 – Amostra A4 fim: TG10. 500x

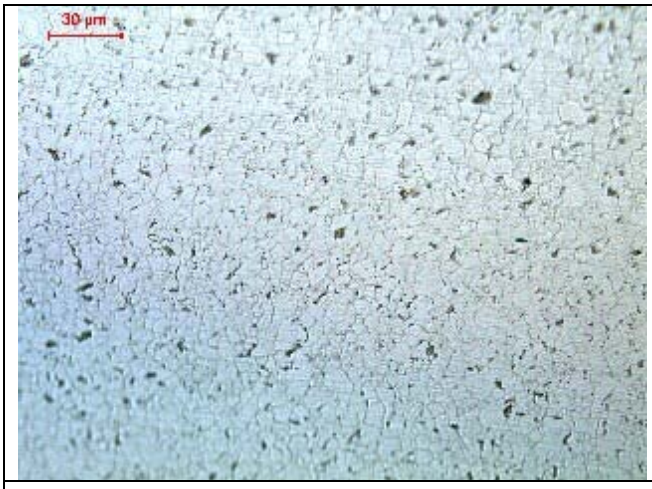


Figura 5 – Amostra A5 fim: TG 10. 500x

d) V90 - Secção Longitudinal

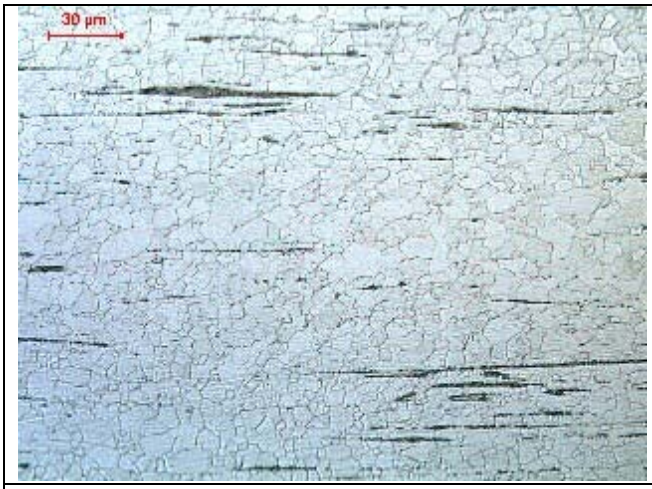


Figura 1 – Amostra A1 inicio. 500x

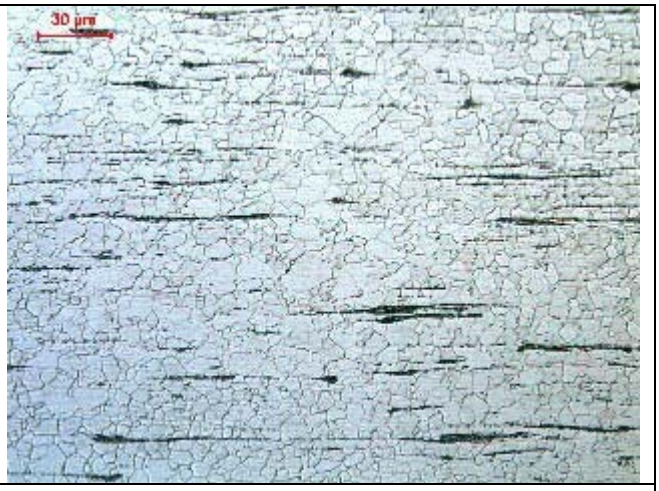


Figura 2 – Amostra A2 inicio. 500x

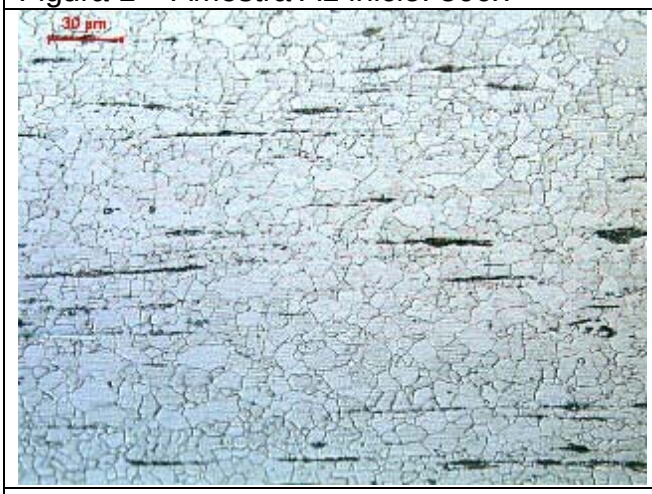


Figura 3 – Amostra A3 meio. 500x

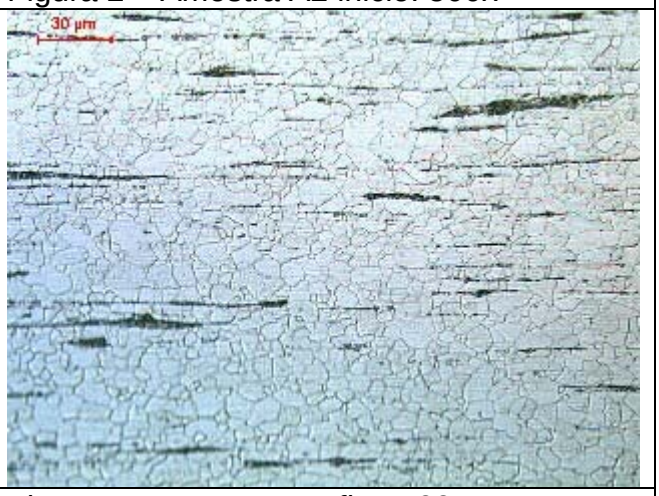


Figura 4 – Amostra A4 fim. 500x

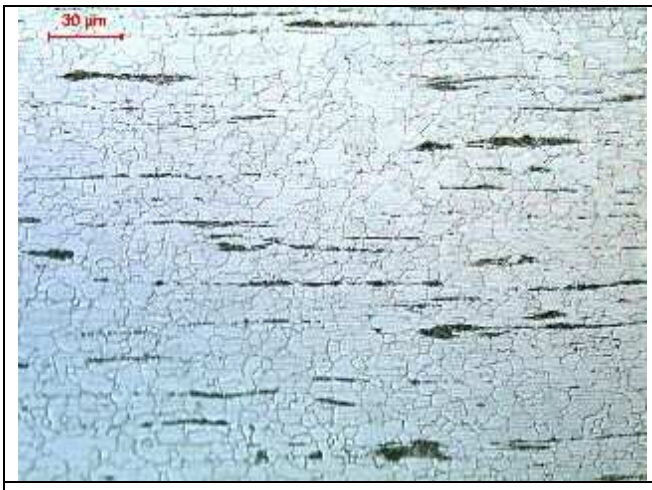


Figura 5 – Amostra A5 fim. 500x

Sapucaia do Sul, 05 de dezembro de 2008

Resp. Ensaios Físicos
Alexsander Otoni R. Vilela

Resp. Análise Química
Luciana Wist

Resp. Análise Química
Karen Silveira

Responsabilidade: Microestrutura
Elidiane Jaques

GERDAU RIOGRANDENSE

Documento
OS 1666

RELATÓRIO DE ANÁLISE
DESENVOLVIMENTO DA QUALIDADE - LABORATÓRIO

Título:	**Análise Comparativa**
Material: FM 5,50mm da URS aço 1007 x Açominas aço 1004 e Arame trefilado.	
Solicitante: João Vitor Mokan	
Cliente: Trefila 2	
Quantidade recebida: varias amostras.	

1 Introdução

Foram recebidas para análise no laboratório do Desenvolvimento da Qualidade varias amostras de FM 5,50mm da URS e da Açominas, também foram recebidas varias amostras de arame trefilado produzido com o mesmo FM da URS e Açominas.

2 Objetivo

Analisar as amostras recebidas caracterizando as suas propriedades físico-químicas e metalograficas de forma comparativa.

3 Ensaios

3.1 Composição Química

FM URS aço 1007

C [%]	Mn [%]	Si[%]	S [%]	P [%]	Cu [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	Sn [%]	V [%]	Nb [%]	B [%]
0,06	0,56	0,25	0,010	0,024	0,026	0,018	0,021	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	0,0008

FM Açominas aço 1004

C [%]	Mn [%]	Si[%]	S [%]	P [%]	Cu [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	Sn [%]	V [%]	Nb [%]	B [%]
0,05	0,40	0,08	0,008	0,010	0,011	0,008	0,019	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,0010

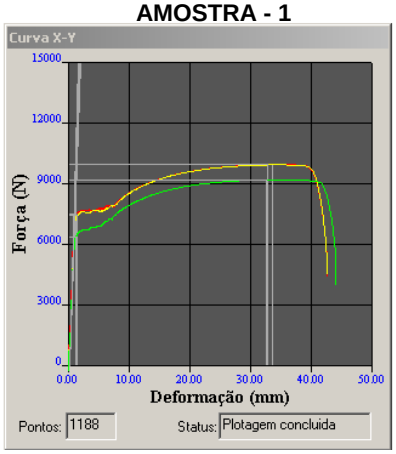
3.3 Ensaio de Tração.

FM - URS aço 1007

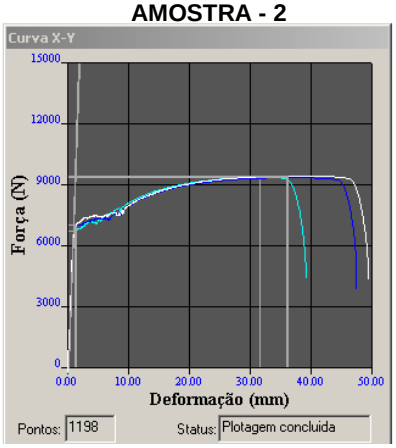
AMOSTRA	ENSAIO	∅MÍN. [mm]	∅MÁX. [mm]	∅MÉD. [mm]	OVALIZ. [mm]	So [mm2]	Fe [N]	Le [MPa]	Fr [N]	Lr [MPa]	Lo [mm]	Lf [mm]	A [%]	∅FINAL [mm]	Z [%]
1	1	5,49	5,75	5,62	0,26	24,81	7534	304	9974	402	55	72,55	31,91	2,53	79,73
	2	5,51	5,72	5,62	0,21	24,76	7493	303	9960	402	55	71,2	29,45	2,59	78,72
	3	5,22	5,78	5,50	0,56	23,76	6381	269	9222	388	55	73,64	33,89	2,60	77,65
2	1	5,50	5,67	5,59	0,17	24,50	6765	276	9400	384	55	71,72	30,40	2,55	79,15
	2	5,48	5,69	5,59	0,21	24,50	7028	287	9379	383	55	73,08	32,87	2,56	78,99
	3	5,52	5,72	5,62	0,20	24,81	7062	285	9461	381	55	74,08	34,69	2,46	80,84
3	1	5,45	5,96	5,71	0,51	25,56	7841	307	10295	403	55	71,85	30,64	2,61	79,07
	2	5,45	5,95	5,70	0,50	25,52	7857	308	10309	404	55	74,48	35,42	2,71	77,40
	3	5,53	5,98	5,76	0,45	26,01	7997	307	10453	402	55	74,98	36,33	2,57	80,06
4	1	5,19	5,79	5,49	0,60	23,67	6630	280	9393	397	55	72,22	31,31	2,48	79,59
	2	5,42	5,68	5,55	0,26	24,19	7513	311	9865	408	55	70,34	27,89	2,52	79,38
	3	5,39	5,67	5,53	0,28	24,02	7424	309	9803	408	55	70,76	28,65	2,57	78,40
5	1	5,52	6,13	5,83	0,61	26,65	8087	303	10569	397	55	73,78	34,15	2,60	80,08
	2	5,45	6,37	5,91	0,92	27,43	8001	292	10658	389	55	73,34	33,35	2,76	78,19
	3	5,54	5,77	5,66	0,23	25,12	7964	317	10548	420	55	73,74	34,07	2,75	76,35

Gráficos dos Ensaios

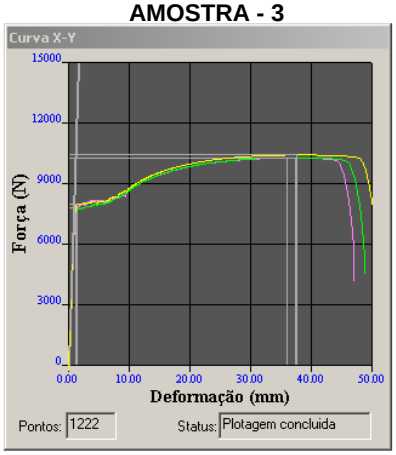
AMOSTRA - 1



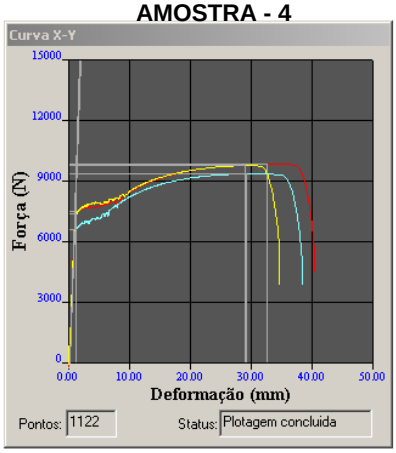
AMOSTRA - 2



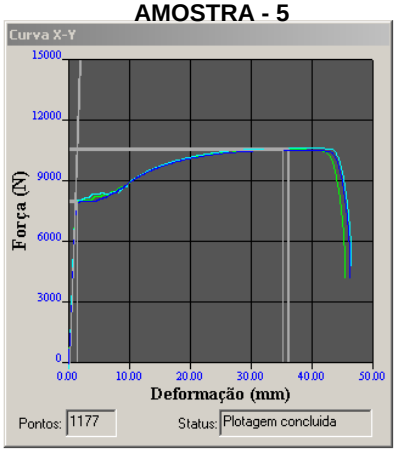
AMOSTRA - 3



AMOSTRA - 4



AMOSTRA - 5



FM Açominas aço 1004

AMOSTRA	ENSAIO	∅ MÍN. [mm]	∅ MÁX. [mm]	∅ MÉD. [mm]	OVALIZ. [mm]	So [mm2]	Fe [N]	Le [MPa]	Fr [N]	Lr [MPa]	Lo [mm]	Lf [mm]	A [%]	∅ FINAL [mm]	Z [%]
1	1	5,43	5,71	5,57	0,28	24,37	7745	318	9318	382	55	72,8	32,36	2,36	82,05
	2	5,44	5,67	5,56	0,23	24,24	7781	321	9277	383	55	73,78	34,15	2,39	81,49
	3	5,46	5,64	5,55	0,18	24,19	7648	316	9229	381	55	73,15	33,00	2,38	81,61
2	1	5,47	5,64	5,56	0,17	24,24	7431	307	9174	379	55	73,17	33,04	2,39	81,49
	2	5,47	5,57	5,52	0,10	23,93	7328	306	9072	379	55	72,13	31,15	2,53	78,99
	3	5,43	5,71	5,57	0,28	24,37	7515	308	9140	375	55	73,73	34,05	2,47	80,34
3	1	5,44	5,60	5,52	0,16	23,93	7212	301	8976	375	55	72,63	32,05	2,36	81,72
	2	5,44	5,62	5,53	0,18	24,02	7360	306	9120	380	55	72,49	31,80	2,54	78,90
	3	5,43	5,57	5,50	0,14	23,76	7219	304	9003	379	55	73,43	33,51	2,35	81,74
4	1	5,48	5,68	5,58	0,20	24,45	7923	324	9379	384	55	73,46	33,56	2,38	81,81
	2	5,50	5,68	5,59	0,18	24,54	7731	315	9290	379	55	73,28	33,24	2,43	81,10
	3	5,50	5,60	5,55	0,10	24,19	7951	329	9311	385	55	73,36	33,38	2,35	82,07

OBSERVAÇÕES:

So = Seção transversal da barra (mm²).

Fe = (Força de escoamento) - Carga máxima aplicada sobre a seção transversal até o início da deformação plástica.

Fr = (Força de resistência) - Carga máxima aplicada sobre a seção transversal até a ruptura.

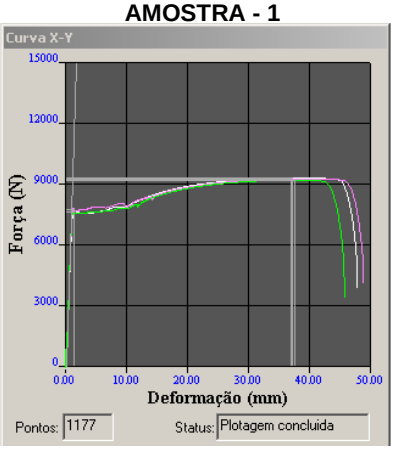
Le = (Limite de escoamento) - Tensão máxima aplicada na seção transversal (N/mm²) no início da deformação plástica..

Lr = (Limite de resistência) - Tensão máxima aplicada na seção transversal (N/mm²).

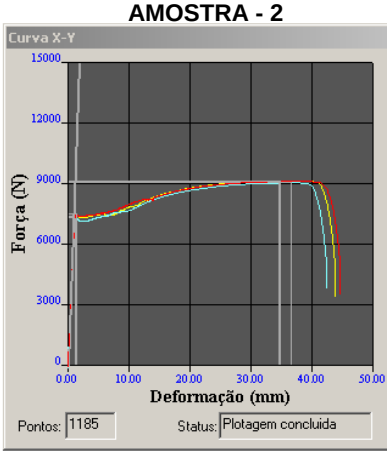
A = Alongamento após ruptura da barra.

Gráficos dos Ensaios

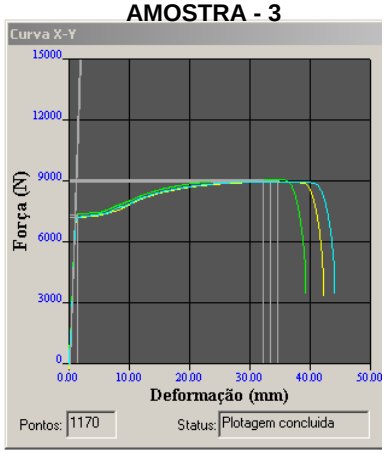
AMOSTRA - 1



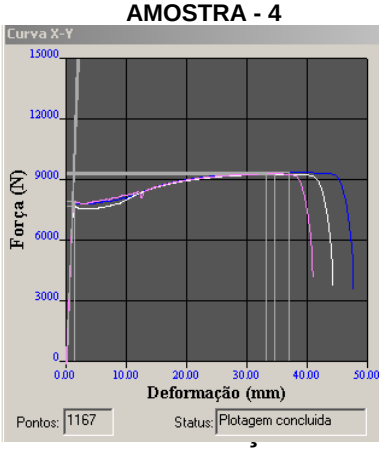
AMOSTRA - 2



AMOSTRA - 3



AMOSTRA - 4



AMOSTRA	ENSAIO	∅ MÍN. [mm]	∅ MÁX. [mm]	∅ MÉD. [mm]	OVALIZ. [mm]	So [mm2]	Fe [Kgf]	Le [Kgf/mm2]	Fr [Kgf]	Lr [Kgf/mm2]	Lo [mm]	Lf [mm]	A [%]
1 inicio	1	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	115	89	129	100	13	13,47	3,62
	2	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	118	92	132	103	13	13,60	4,62
	3	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	128	99	132	103	13	13,39	3,00
1A inicio 5 fim	1	1,27	1,29	1,28	0,02	1,29	102	79	126	98	13	13,56	4,31
	2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	103	81	126	99	13	13,49	3,77
	3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	114	89	127	99	13	13,33	2,54
2 inicio	1	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	117	91	131	102	13	13,50	3,85
	2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	115	90	131	103	13	13,59	4,54
	3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	119	93	131	103	13	13,34	2,62
3A meio	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	113	89	129	101	13	13,49	3,77
	2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	113	89	129	101	13	13,63	4,85
	3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	111	87	127	99	13	13,59	4,54
3 meio	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	113	89	131	103	13	13,51	3,92
	2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	113	89	129	101	13	13,59	4,54
	3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	111	87	130	102	13	13,60	4,62
4A fim	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	121	95	135	106	13	13,65	5,00
	2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	122	96	134	105	13	13,48	3,69
	3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	120	94	135	106	13	13,51	3,92
2A inicio	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	109	85	126	99	13	13,37	2,85
	2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	108	85	126	99	13	13,67	5,15
	3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	122	96	126	99	13	13,57	4,38
4 fim	1	1,27	1,27	1,27	0,00	1,27	100	79	124	98	13	13,54	4,15
	2	1,27	1,27	1,27	0,00	1,27	103	81	124	98	13	13,40	3,08
	3	1,27	1,27	1,27	0,00	1,27	102	81	127	100	13	13,50	3,85
5A fim	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	120	94	134	105	13	13,31	2,38
	2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	119	93	134	105	13	13,37	2,85
	3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	119	93	134	105	13	13,66	5,08

OBSERVAÇÕES:

So = Seção transversal (mm²).

Fe = (Força de escoamento) - Carga máxima aplicada sobre a seção transversal até o início da deformação plástica.

Fr = (Força de resistência) - Carga máxima aplicada sobre a seção transversal até a ruptura.

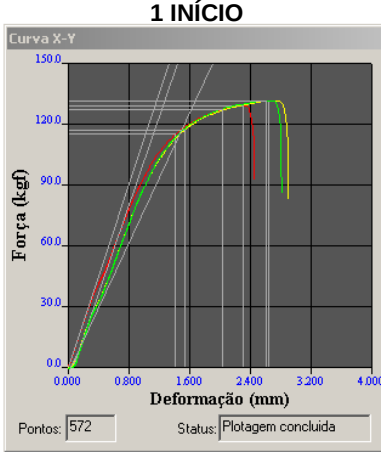
Le = (Limite de escoamento) - Tensão máxima aplicada na seção transversal (Kgf/mm²) no início da deformação plástica.

Lr = (Limite de resistência) - Tensão máxima aplicada na seção transversal (Kgf/mm²).

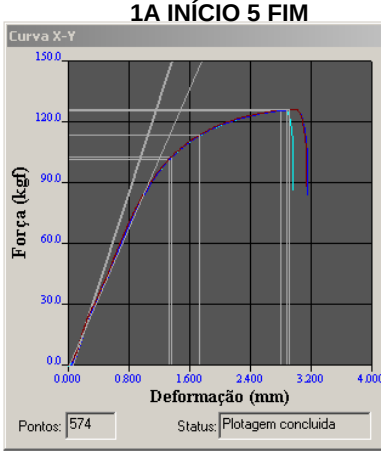
A = Alongamento após ruptura.

Gráficos dos Ensaios

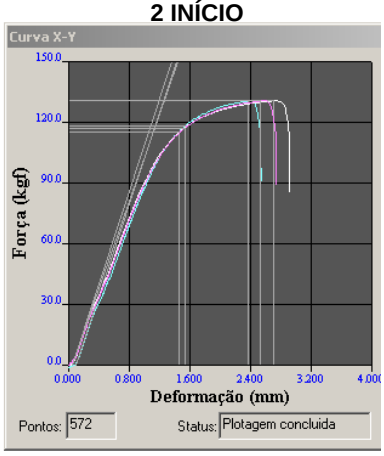
1 INÍCIO



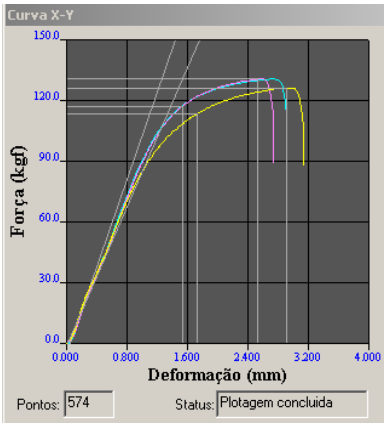
1A INÍCIO 5 FIM



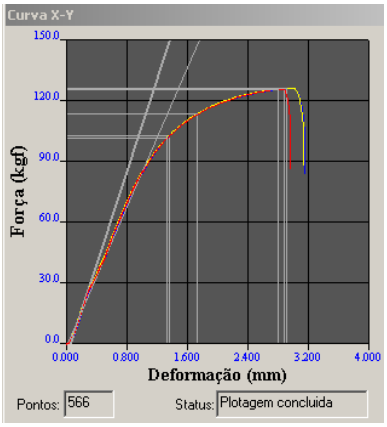
2 INÍCIO



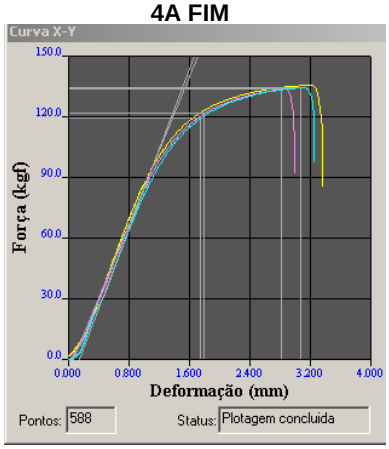
3A MEIO



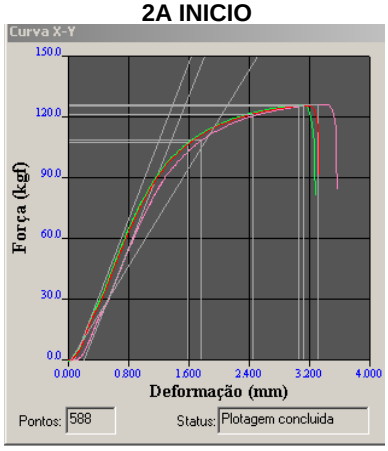
3 MEIO



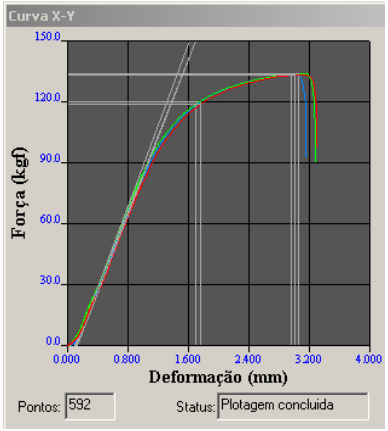
4A FIM



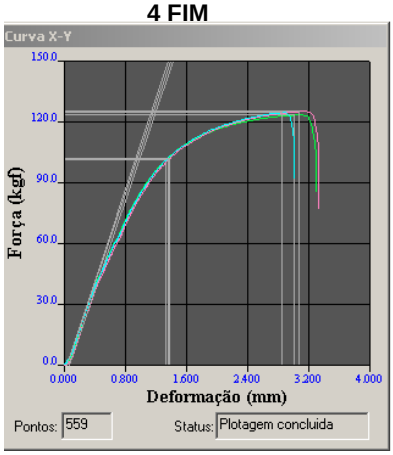
2A INICIO



5A FIM



4 FIM



Arame - AM aço 1004

AMOSTRA	ENSAIO	∅ MÍN. [mm]	∅ MÁX. [mm]	∅ MÉD. [mm]	OVALIZ. [mm]	So [mm2]	Fe [Kgf]	Le [Kgf/mm2]	Fr [Kgf]	Lr [Kgf/mm2]	Lo [mm]	Lf [mm]	A [%]
1A início	1	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	125	97	136	106	13	13,37	2,85
	2	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	125	97	134	104	13	13,35	2,69
	3	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	128	99	135	105	13	13,48	3,69
2A início	1	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	126	98	132	103	13	13,39	3,00
	2	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	124	96	132	102	13	13,44	3,38
	3	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	126	97	133	103	13	13,53	4,08
3A meio	1	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	133	103	136	106	13	13,43	3,31
	2	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	126	97	136	105	13	13,31	2,38
	3	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	125	97	135	105	13	13,45	3,46
4A fim	1	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	130	100	132	102	13	13,35	2,69
	2	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	129	99	132	102	13	13,34	2,62
	3	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	131	101	131	101	13	13,41	3,15
5A fim	1	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	129	100	132	103	13	13,29	2,23
	2	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	132	103	132	103	13	13,34	2,62
	3	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	129	100	133	103	13	13,32	2,46
1 início	1	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	126	98	131	102	13	13,57	4,38
	2	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	129	100	131	102	13	13,54	4,15
	3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	126	99	131	103	13	13,47	3,62
2 início	1	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	128	99	132	103	13	13,43	3,31
	2	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	127	99	133	103	13	13,51	3,92
	3	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	124	96	134	104	13	13,54	4,15
3 meio	1	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	123	96	134	104	13	13,57	4,38
	2	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	123	95	134	103	13	13,51	3,92
	3	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	124	96	135	105	13	13,49	3,77
4 fim	1	1,27	1,27	1,27	0,00	1,27	130	103	132	104	13	13,62	4,77
	2	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	123	96	132	103	13	13,59	4,54
	3	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	126	98	133	103	13	13,57	4,38
5 fim	1	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	122	95	133	103	13	13,55	4,23
	2	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	122	95	134	104	13	13,63	4,85
	3	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	124	96	134	104	13	13,67	5,15

OBSERVAÇÕES:

So = Seção transversal (mm²).

Fe = (Força de escoamento) - Carga máxima aplicada sobre a seção transversal até o início da deformação plástica.

Fr = (Força de resistência) - Carga máxima aplicada sobre a seção transversal até a ruptura.

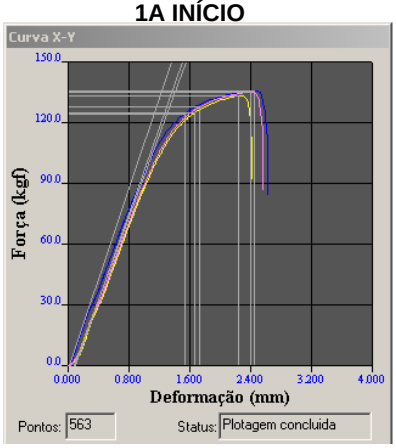
Le = (Limite de escoamento) - Tensão máxima aplicada na seção transversal (Kgf/mm²) no início da deformação plástica.

Lr = (Limite de resistência) - Tensão máxima aplicada na seção transversal (Kgf/mm²).

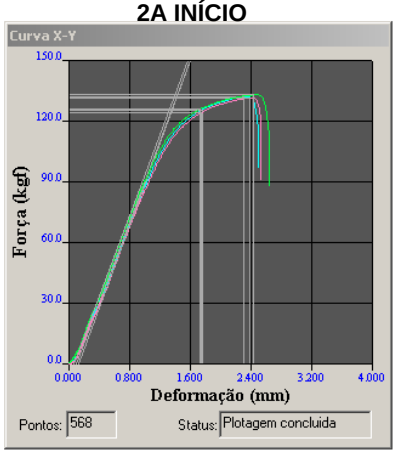
A = Alongamento após ruptura.

Gráficos dos Ensaios

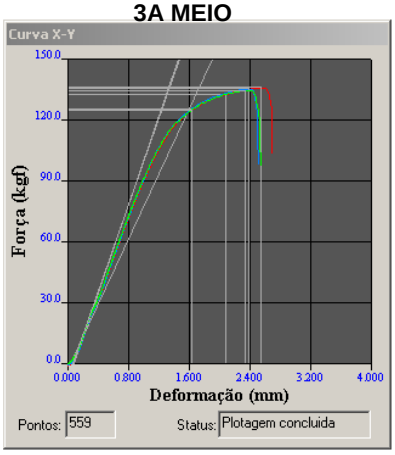
1A INÍCIO



2A INÍCIO



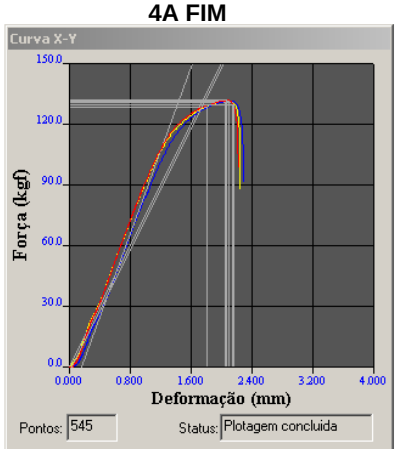
3A MEIO

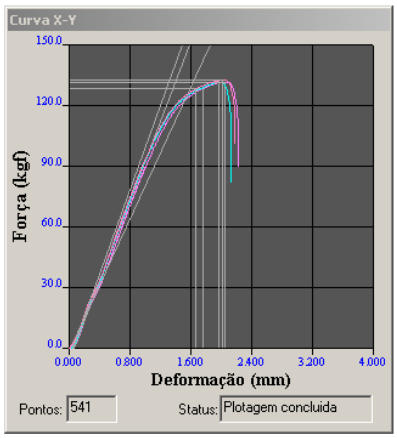


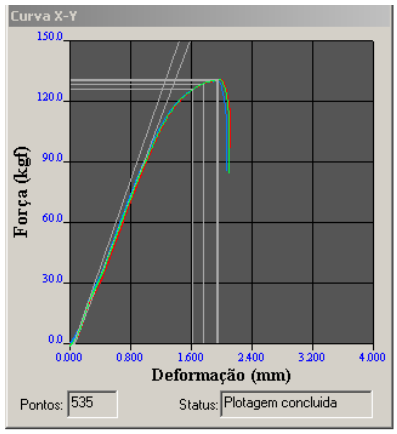
5A FIM

1 INÍCIO

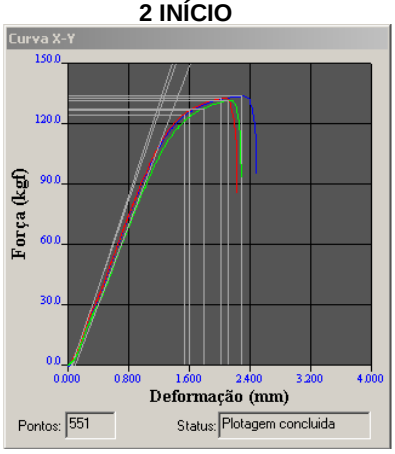
4A FIM



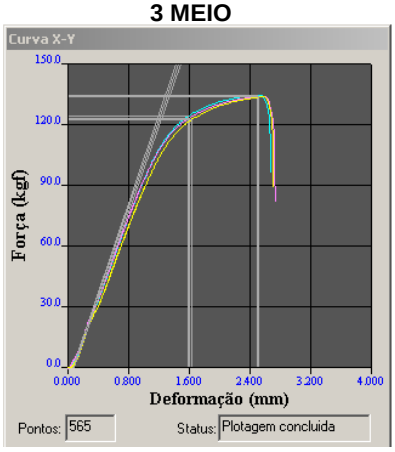




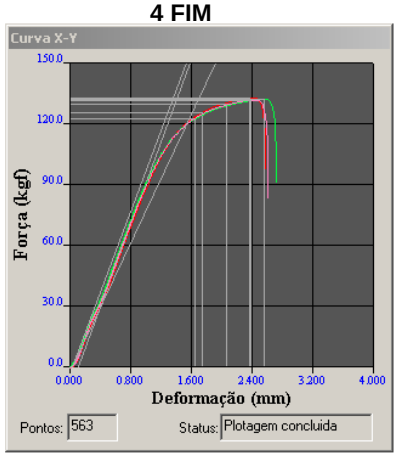
2 INÍCIO



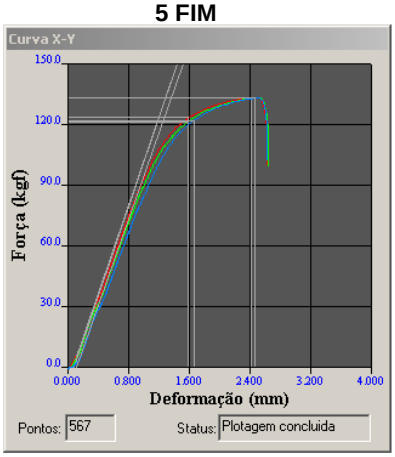
3 MEIO



4 FIM



5 FIM



Arame Galvanizado - URS aço 1007

AMOSTRA	ENSAIO	∅ MÍN. [mm]	∅ MÁX. [mm]	∅ MÉD. [mm]	OVALIZ. [mm]	So [mm2]	Fe [Kgf]	Le [Kgf/mm2]	Fr [Kgf]	Lr [Kgf/mm2]	Lo [mm]	Lf [mm]	A [%]
Amostra 1 (1)	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	52	41	66	52	13	16,35	25,77
	2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	52	41	66	52	13	16,38	26,00
	3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	52	41	66	52	13	15,99	23,00
Amostra 1 (2)	1	1,27	1,29	1,28	0,02	1,29	51	40	66	51	13	16,49	26,85
	2	1,27	1,29	1,28	0,02	1,29	51	40	66	51	13	16,46	26,62
	3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	51	40	66	52	13	16,52	27,08
Amostra 1 (3)	1	1,27	1,29	1,28	0,02	1,29	51	40	66	51	13	16,48	26,77
	2	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	51	39	66	51	13	16,32	25,54
	3	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	51	39	66	51	13	16,49	26,85
Amostra 1 (4)	1	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	51	39	65	50	13	16,43	26,38
	2	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	51	39	65	50	13	16,46	26,62
	3	1,28	1,30	1,29	0,02	1,31	51	39	65	50	13	16,23	24,85
Amostra 1 (5)	1	1,28	1,30	1,29	0,02	1,31	51	39	65	50	13	16,55	27,31
	2	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	51	39	65	50	13	16,41	26,23
	3	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	51	39	65	50	13	16,43	26,38
Amostra 1A (1)	1	1,21	1,21	1,21	0,00	1,15	69	60	70	61	13	14,28	9,85
	2	1,21	1,21	1,21	0,00	1,15	69	60	70	61	13	14,26	9,69
	3	1,21	1,21	1,21	0,00	1,15	69	60	69	60	13	14,54	11,85
Amostra 1A (2)	1	1,21	1,21	1,21	0,00	1,15	70	61	70	61	13	14,36	10,46
	2	1,21	1,21	1,21	0,00	1,15	70	61	70	61	13	14,24	9,54
	3	1,21	1,21	1,21	0,00	1,15	70	61	71	62	13	13,86	6,62
Amostra 1A (3)	1	1,21	1,21	1,21	0,00	1,15	70	61	70	61	13	14,28	9,85
	2	1,21	1,21	1,21	0,00	1,15	70	61	70	61	13	14,19	9,15
	3	1,21	1,21	1,21	0,00	1,15	69	60	70	61	13	13,80	6,15
Amostra 1A (4)	1	1,21	1,21	1,21	0,00	1,15	69	60	70	61	13	13,91	7,00
	2	1,21	1,21	1,21	0,00	1,15	69	60	70	61	13	14,33	10,23
	3	1,21	1,22	1,22	0,01	1,16	70	60	70	60	13	14,50	11,54
Amostra 1A (5)	1	1,20	1,21	1,21	0,01	1,14	70	61	70	61	13	14,24	9,54
	2	1,20	1,21	1,21	0,01	1,14	70	61	70	61	13	14,25	9,62
	3	1,20	1,21	1,21	0,01	1,14	69	61	70	61	13	14,27	9,77

OBSERVAÇÕES:

So = Seção transversal (mm²).

Fe = (Força de escoamento) - Carga máxima aplicada sobre a seção transversal até o início da deformação plástica.

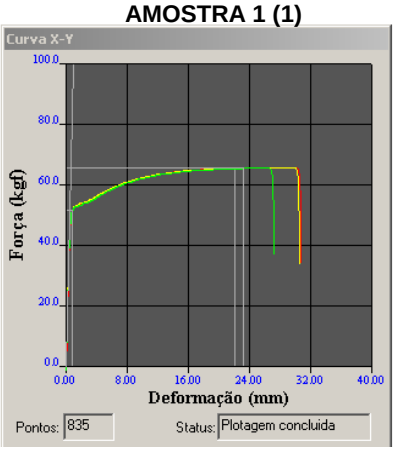
Fr = (Força de resistência) - Carga máxima aplicada sobre a seção transversal até a ruptura.

Le = (Limite de escoamento) - Tensão máxima aplicada na seção transversal (Kgf/mm²) no início da deformação plástica.

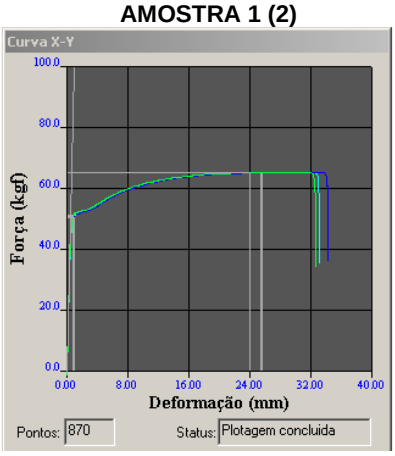
Lr = (Limite de resistência) - Tensão máxima aplicada na seção transversal (Kgf/mm²).

A = Alongamento após ruptura.

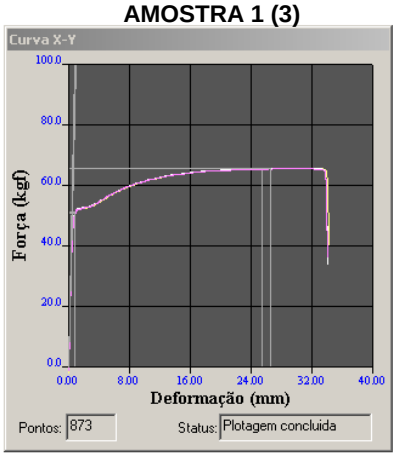
AMOSTRA 1 (1)



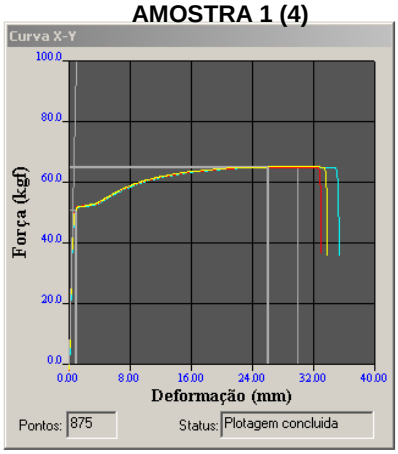
AMOSTRA 1 (2)



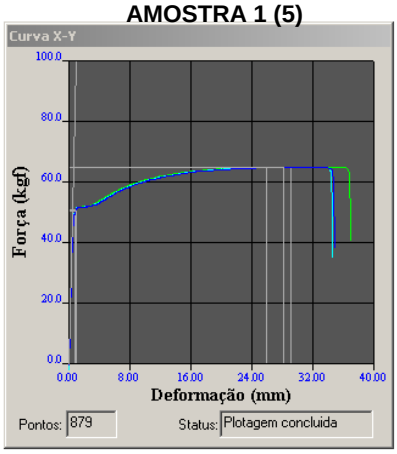
AMOSTRA 1 (3)



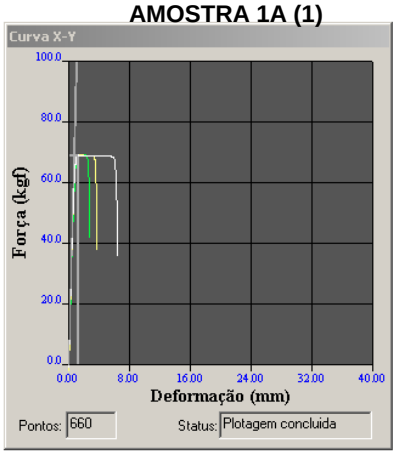
AMOSTRA 1 (4)



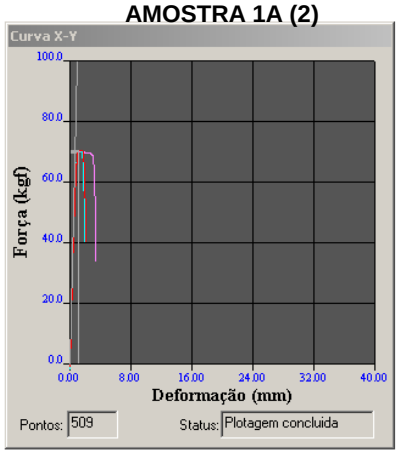
AMOSTRA 1 (5)



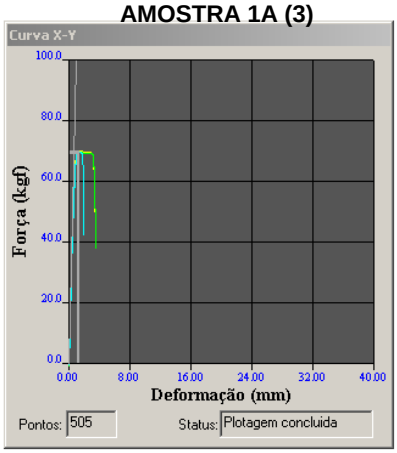
AMOSTRA 1A (1)



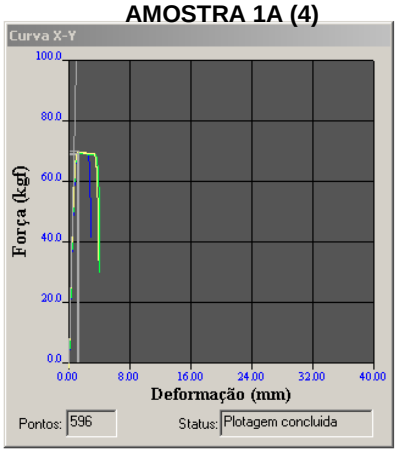
AMOSTRA 1A (2)



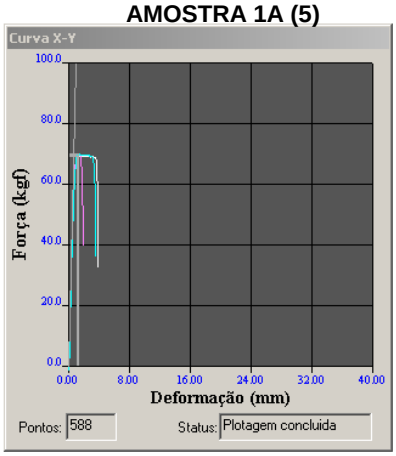
AMOSTRA 1A (3)



AMOSTRA 1A (4)



AMOSTRA 1A (5)



Arame Galvanizado - AM aço 1004

AMOSTRA	ENSAIO	∅ MÍN. [mm]	∅ MÁX. [mm]	∅ MÉD. [mm]	OVALIZ. [mm]	So [mm2]	Fe [Kgf]	Le [Kgf/mm2]	Fr [Kgf]	Lr [Kgf/mm2]	Lo [mm]	Lf [mm]	A [%]
Amostra 2 (1)	1	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	52	40	64	50	13	16,34	25,69
	2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	54	42	64	50	13	16,16	24,31
	3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	53	42	64	50	13	16,12	24,00
Amostra 2 (2)	1	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	53	41	64	50	13	16,26	25,08
	2	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	53	41	64	50	13	16,23	24,85
	3	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	53	41	64	50	13	16,17	24,38
Amostra 2 (3)	1	1,28	1,29	1,29	0,01	1,30	54	42	64	49	13	16,29	25,31
	2	1,28	1,30	1,29	0,02	1,31	54	41	64	49	13	16,22	24,77
	3	1,28	1,28	1,28	0,00	1,29	53	41	65	51	13	16,38	26,00
Amostra 2 (4)	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	53	42	64	50	13	16,11	23,92
	2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	54	42	64	50	13	16,06	23,54
	3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	54	42	64	50	13	16,02	23,23
Amostra 2 (5)	1	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	53	42	64	50	13	16,01	23,15
	2	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	53	42	64	50	13	16,18	24,46
	3	1,27	1,28	1,28	0,01	1,28	53	42	64	50	13	16,17	24,38
Amostra 2A (1)	1	1,30	1,32	1,31	0,02	1,35	49	36	61	45	13	16,24	24,92
	2	1,30	1,32	1,31	0,02	1,35	48	36	61	45	13	16,42	26,31
	3	1,30	1,32	1,31	0,02	1,35	49	36	61	45	13	16,37	25,92
Amostra 2A (2)	1	1,30	1,32	1,31	0,02	1,35	49	36	62	46	13	16,25	25,00
	2	1,30	1,32	1,31	0,02	1,35	49	36	61	45	13	16,49	26,85
	3	1,30	1,32	1,31	0,02	1,35	49	36	62	46	13	16,69	28,38
Amostra 2A (3)	1	1,29	1,31	1,30	0,02	1,33	48	36	62	47	13	16,60	27,69
	2	1,30	1,31	1,31	0,01	1,34	50	37	63	47	13	16,67	28,23
	3	1,29	1,31	1,30	0,02	1,33	50	38	62	47	13	16,65	28,08
Amostra 2A (4)	1	1,30	1,31	1,31	0,01	1,34	49	37	61	46	13	16,76	28,92
	2	1,31	1,32	1,32	0,01	1,36	49	36	61	45	13	16,85	29,62
	3	1,30	1,31	1,31	0,01	1,34	49	37	62	46	13	16,69	28,38
Amostra 2A (5)	1	1,30	1,31	1,31	0,01	1,34	49	37	62	46	13	16,72	28,62
	2	1,30	1,31	1,31	0,01	1,34	49	37	62	46	13	16,67	28,23
	3	1,30	1,32	1,31	0,02	1,35	49	36	62	46	13	16,66	28,15

OBSERVAÇÕES:

So = Seção transversal (mm²).

Fe = (Força de escoamento) - Carga máxima aplicada sobre a seção transversal até o início da deformação plástica.

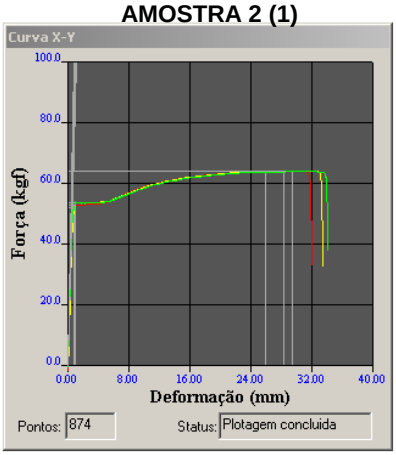
Fr = (Força de resistência) - Carga máxima aplicada sobre a seção transversal até a ruptura.

Le = (Limite de escoamento) - Tensão máxima aplicada na seção transversal (Kgf/mm²) no início da deformação plástica.

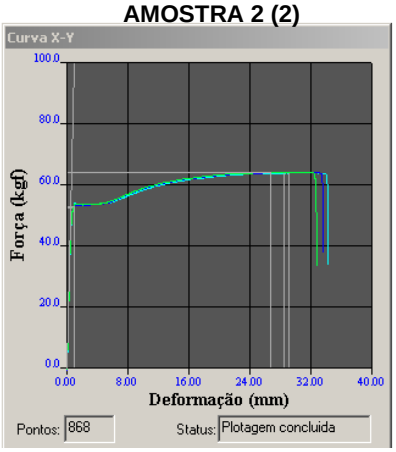
Lr = (Limite de resistência) - Tensão máxima aplicada na seção transversal (Kgf/mm²).

A = Alongamento após ruptura.

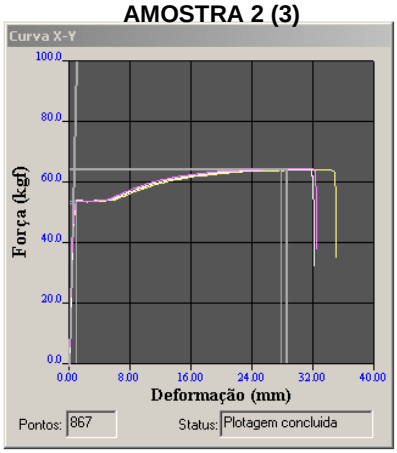
AMOSTRA 2 (1)



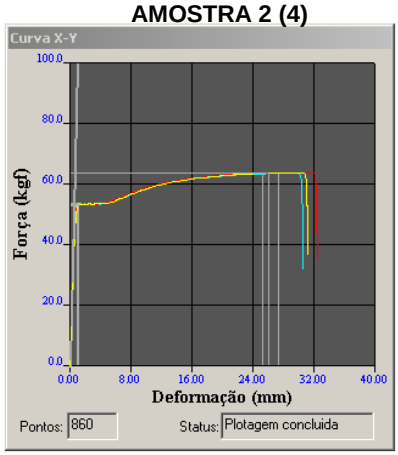
AMOSTRA 2 (2)



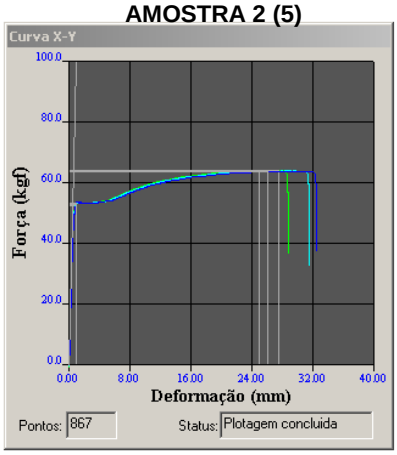
AMOSTRA 2 (3)



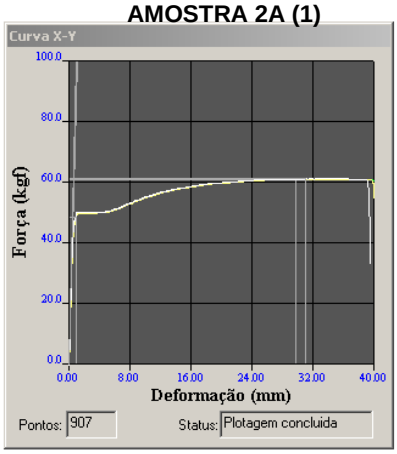
AMOSTRA 2 (4)



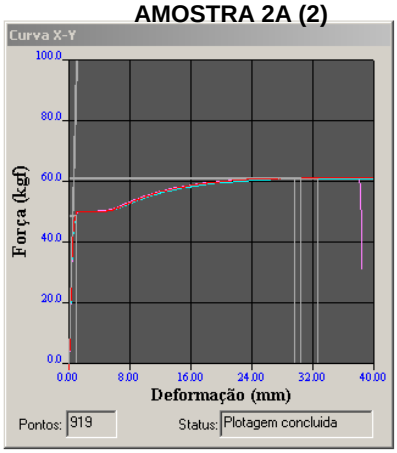
AMOSTRA 2 (5)



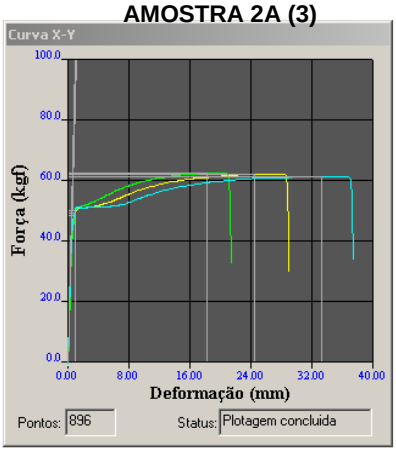
AMOSTRA 2A (1)



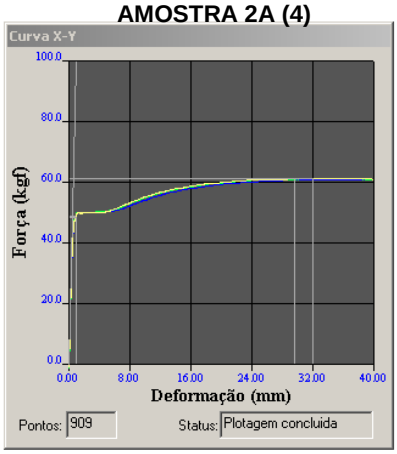
AMOSTRA 2A (2)



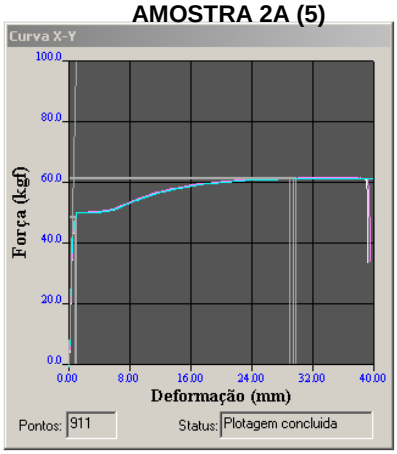
AMOSTRA 2A (3)



AMOSTRA 2A (4)



AMOSTRA 2A (5)



3.4 Microestrutura

3.4.1 FM 5,50mm – URS aço 1007

a) Secção Transversal

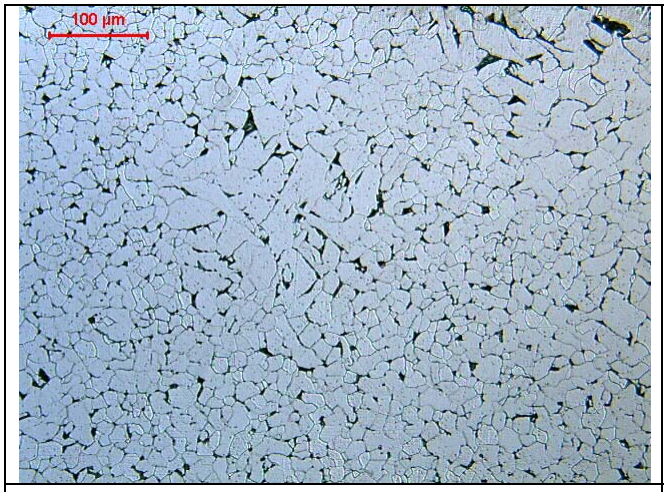


Figura 1 – Amostra 1 – TG 9; 6. 200x

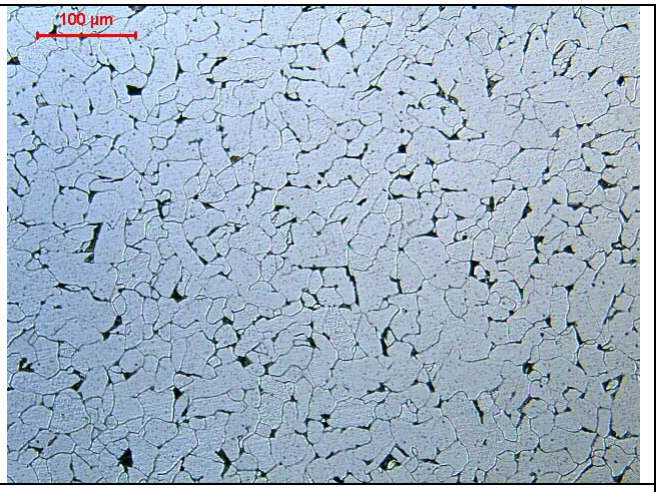


Figura 2 – Amostra 2 – TG 8-7; 6. 200x

Figura 3 – Amostra 3 – TG 9-10; 7. 200x

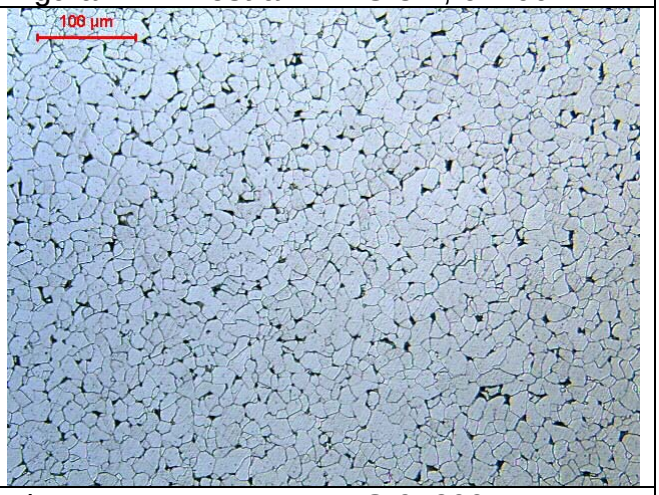


Figura 4 – Amostra 4 – TG 9. 200x

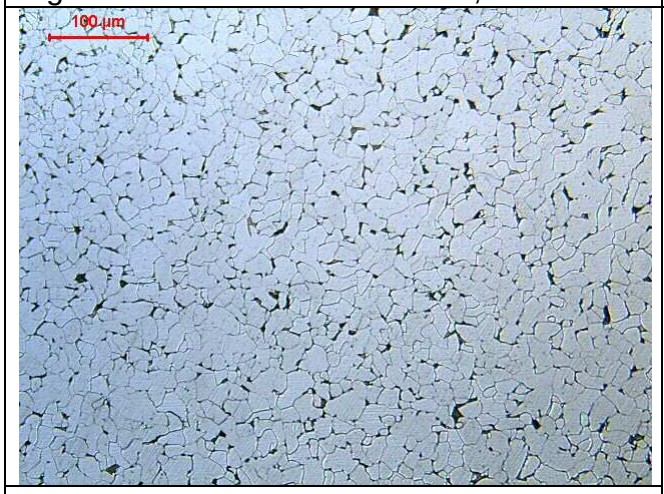


Figura 5 – Amostra 5 – TG 8-9. 200x

a) Secção Longitudinal

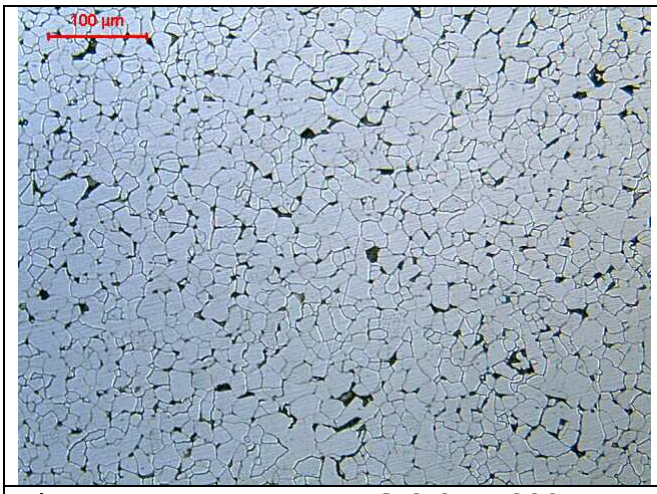


Figura 1 – Amostra 1 – TG 8-9; 7. 200x

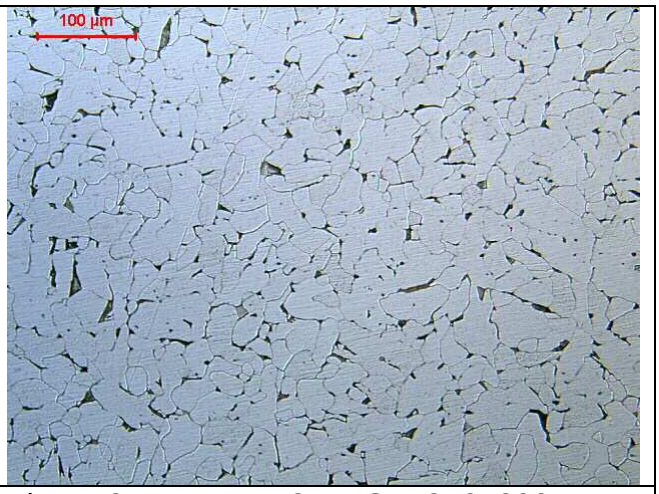


Figura 2 – Amostra 2 – TG 7-8; 6. 200x

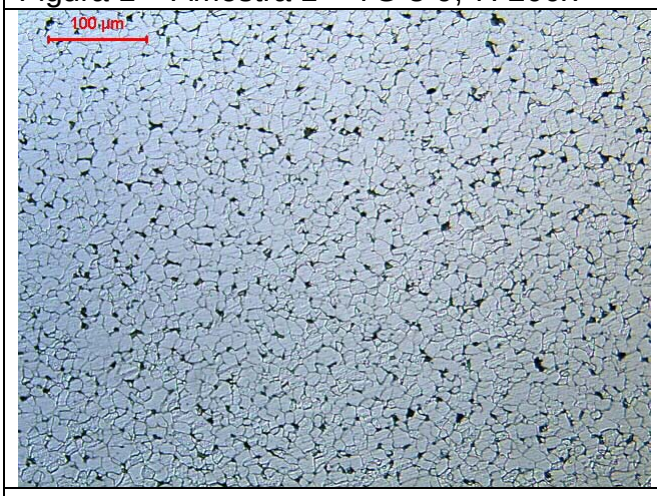


Figura 3 – Amostra 3 – TG 9-10. 200x

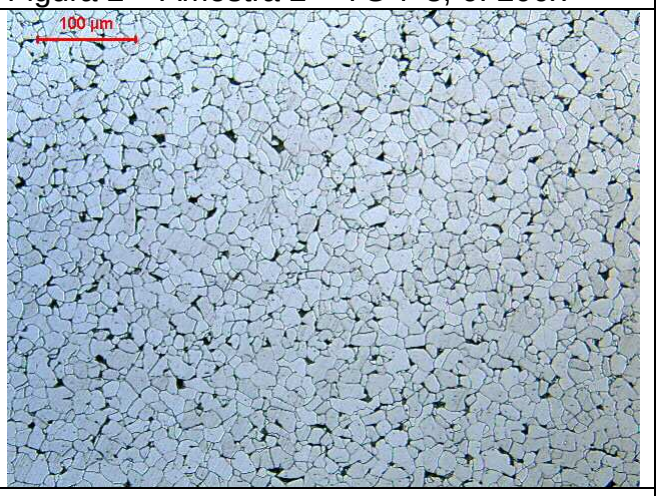


Figura 4 – Amostra 4 – TG 9. 200x

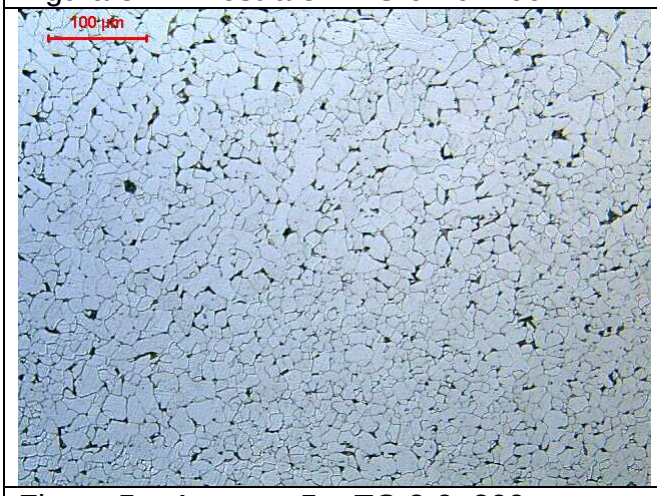


Figura 5 – Amostra 5 – TG 8-9. 200x

3.4.2 FM 5,50mm – AÇOMINAS aço 1004

a) Secção Transversal

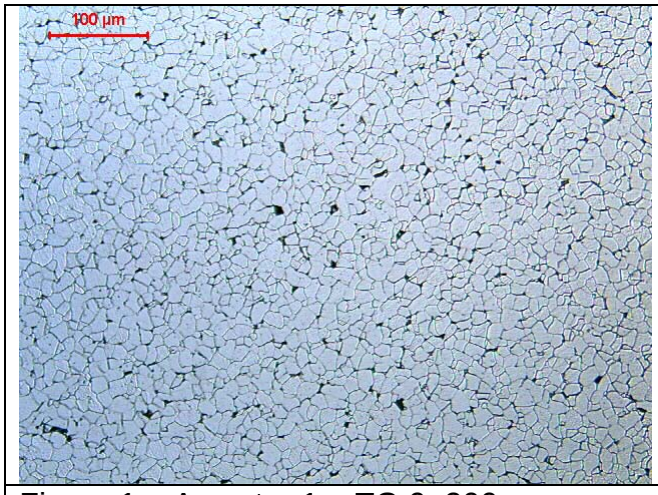


Figura 1 – Amostra 1 – TG 9. 200x

Figura 2 – Amostra 2 – TG 9-10. 200x

Figura 3 – Amostra 3 – TG 9. 200x

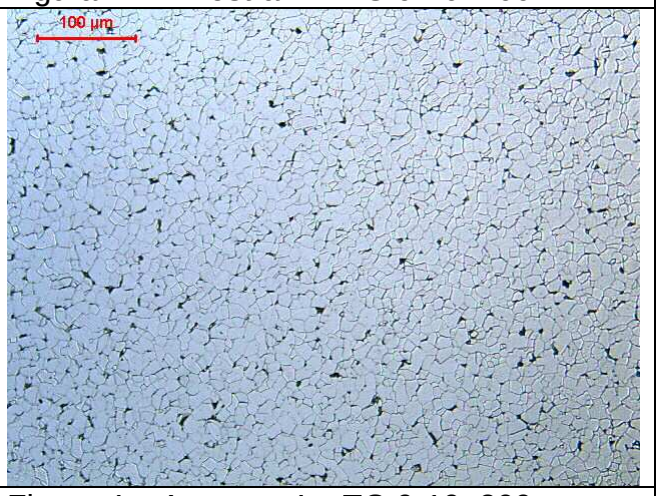


Figura 4 – Amostra 4 – TG 9-10. 200x

b) Secção Longitudinal

Figura 1 – Amostra 1 – TG 9-10. 200x

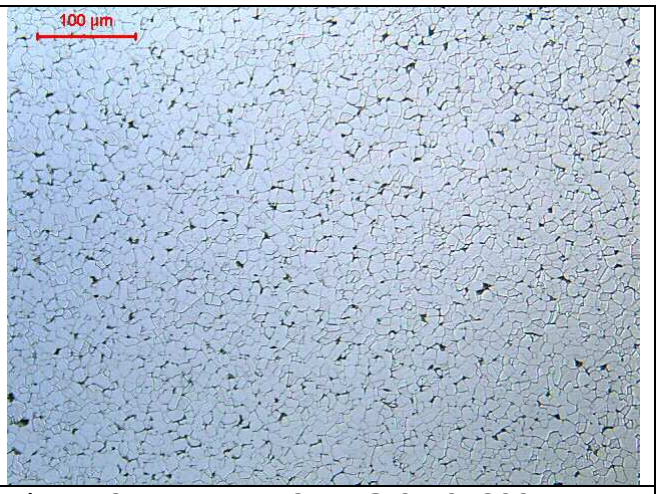


Figura 2 – Amostra 2 – TG 9-10. 200x

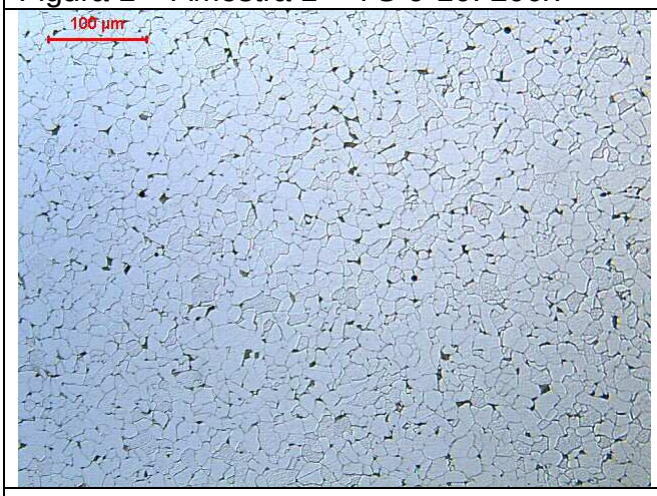


Figura 3 – Amostra 3 – TG 8-9. 200x

Figura 4 – Amostra 4 – TG 9-10. 200x

3.4.3 ARAME TREFILADO – URS aço 1007

a) Secção Longitudinal

Figura 1 – Amostra 1 Inicio. 200x

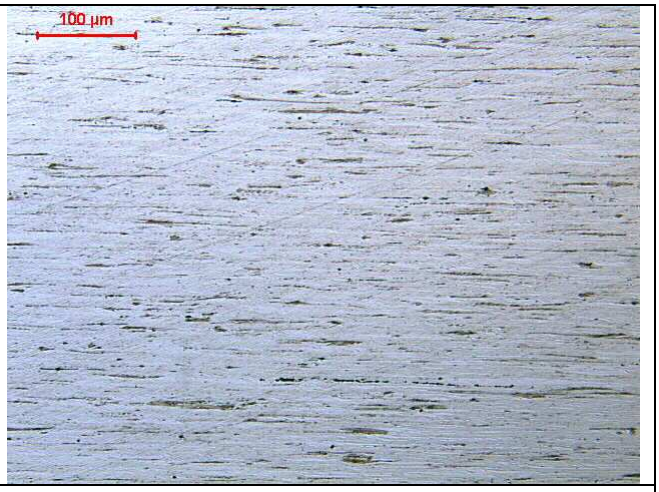


Figura 2 – Amostra 1A Inicio/5 Fim. 200x

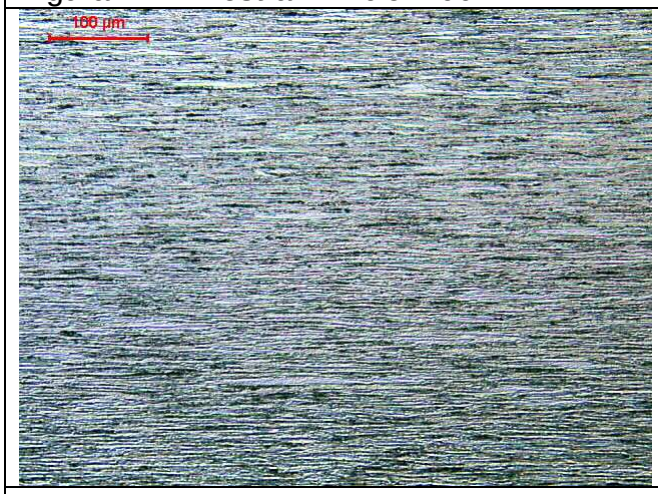


Figura 3 – Amostra 2 Meio. 200x

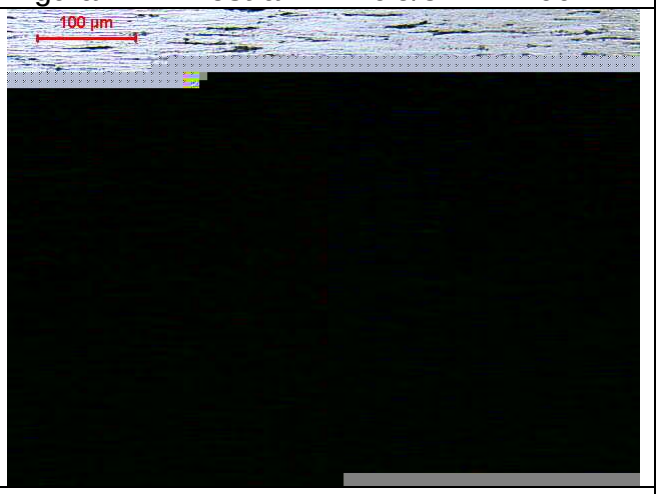


Figura 4 – Amostra 3A Meio. 200x

Figura 5 – Amostra 3 Meio. 200x

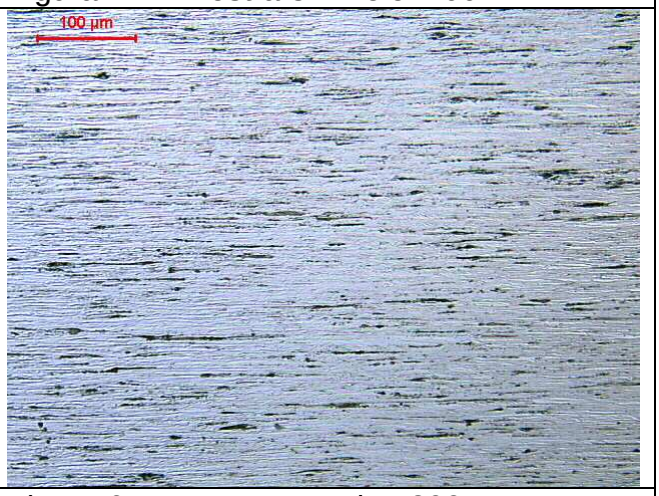


Figura 6 – Amostra 4A Fim. 200x

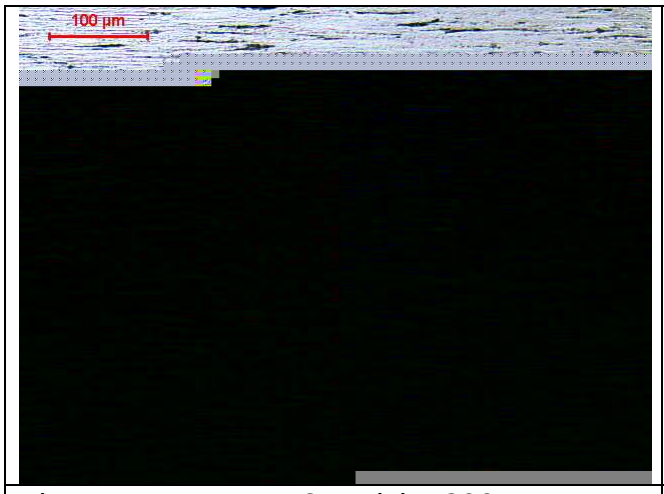


Figura 7 – Amostra 2A Inicio. 200x

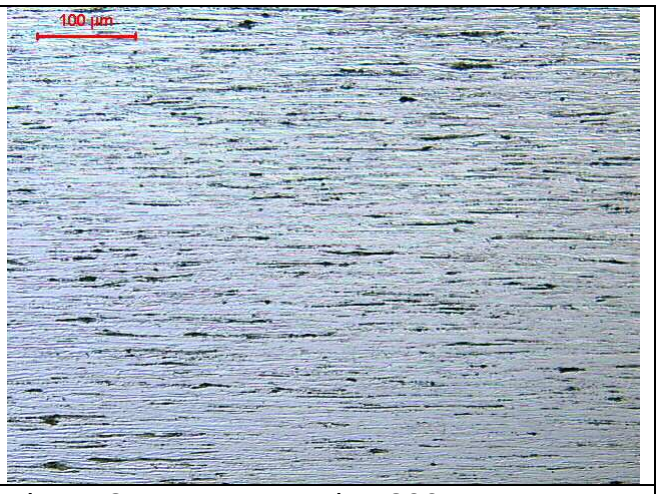


Figura 8 – Amostra 4 Fim. 200x

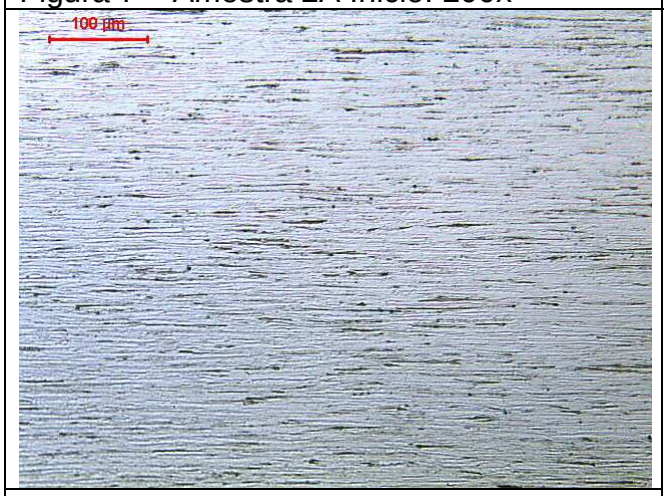


Figura 9 – Amostra 5A Fim. 200x

3.4.4 ARAME TREFILADO – AÇOMINAS aço 1004

a) Secção Longitudinal

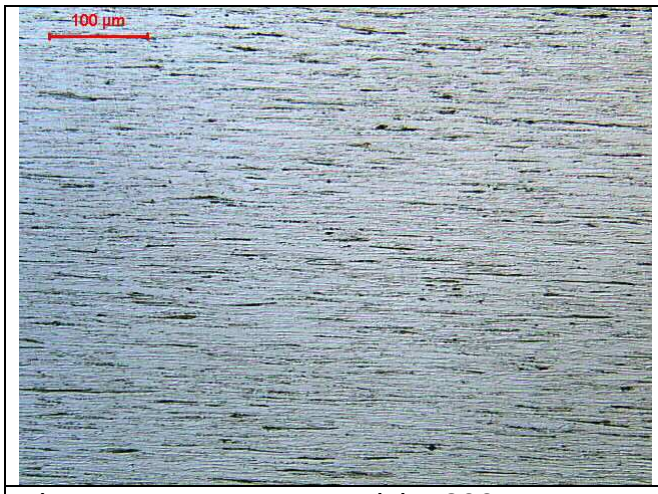


Figura 1 – Amostra 1A Inicio. 200x

Figura 2 – Amostra 2A Inicio. 200x

Figura 3 – Amostra 3A Meio. 200x

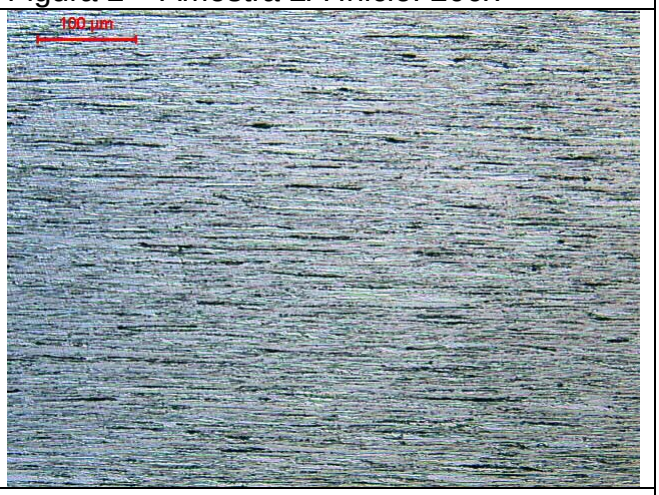


Figura 4 – Amostra 4A Fim. 200x

Figura 5 – Amostra 5A Fim. 200x

Figura 6 – Amostra 1 Inicio. 200x

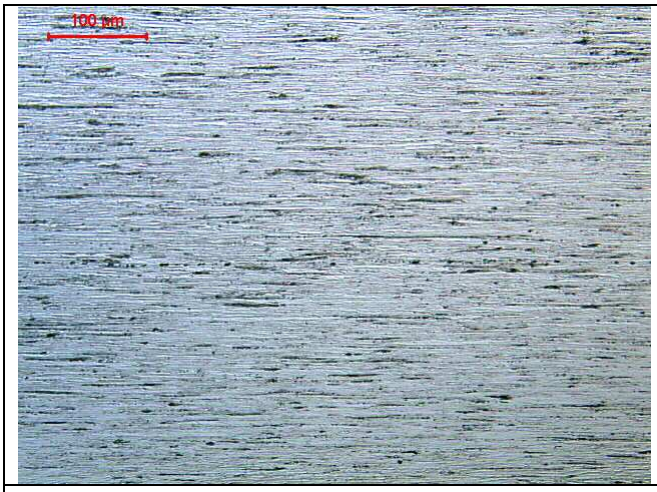


Figura 7 – Amostra 3 Meio. 200x

Figura 8 – Amostra 4 Fim. 200x

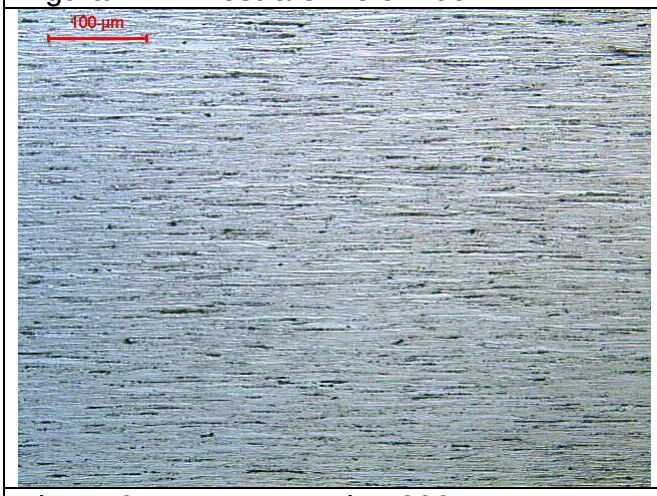


Figura 9 – Amostra 5 Fim. 200x

3.4.5 ARAME TREFILADO GALVANIZADO – URS aço 1007

a) Secção Transversal – AMOSTRA 1

Figura 1 – Amostra 1 – TG 10. 200x

Figura 2 – Amostra 2 – TG 10. 200x

Figura 3 – Amostra 3 – TG 10. 200x

Figura 4 – Amostra 4 – TG 9-10. 200x

Figura 5 – Amostra 5 – TG 9-10. 200x

b) Secção Longitudinal - <u>AMOSTRA 1</u>

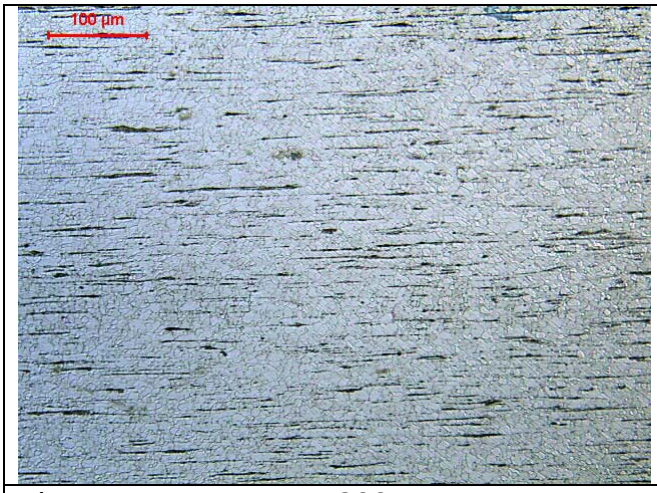


Figura 1 – Amostra 1. 200x

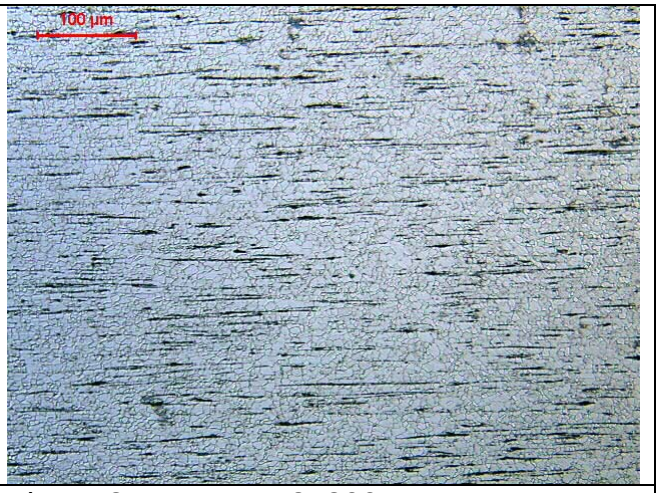


Figura 2 – Amostra 2. 200x

Figura 3 – Amostra 3. 200x

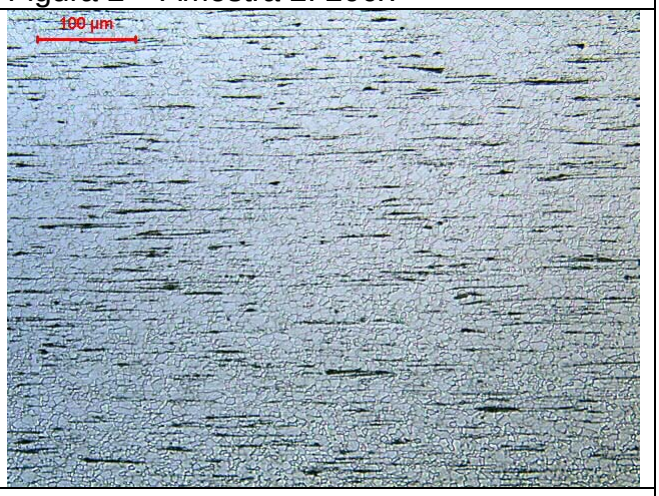


Figura 4 – Amostra 4. 200x

Figura 5 – Amostra 5. 200x

c) Secção Transversal – AMOSTRA 1A

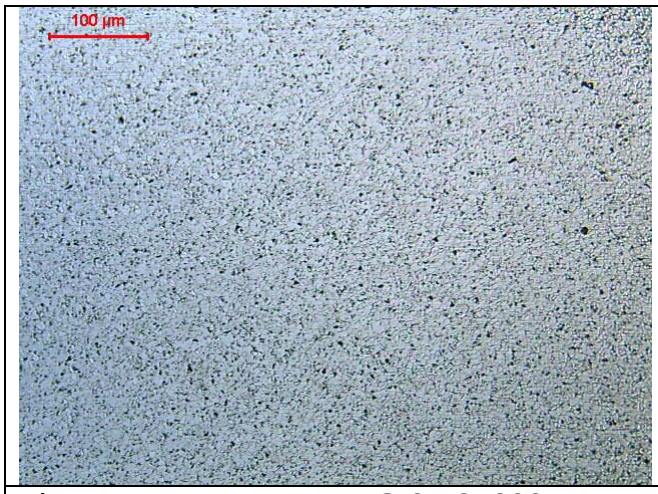


Figura 1 – Amostra 1 – TG 9-10. 200x

Figura 2 – Amostra 2 – TG 10. 200x

Figura 3 – Amostra 3 – TG 8-9. 200x

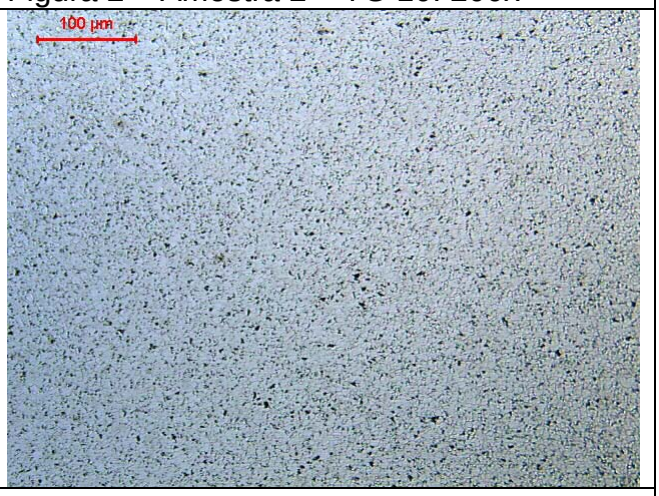


Figura 4 – Amostra 4 – TG 10. 200x

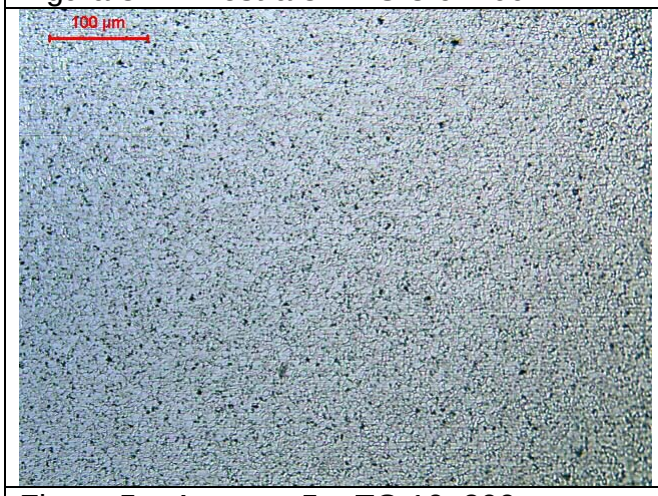


Figura 5 – Amostra 5 – TG 10. 200x

d) Secção Longitudinal - AMOSTRA 1A

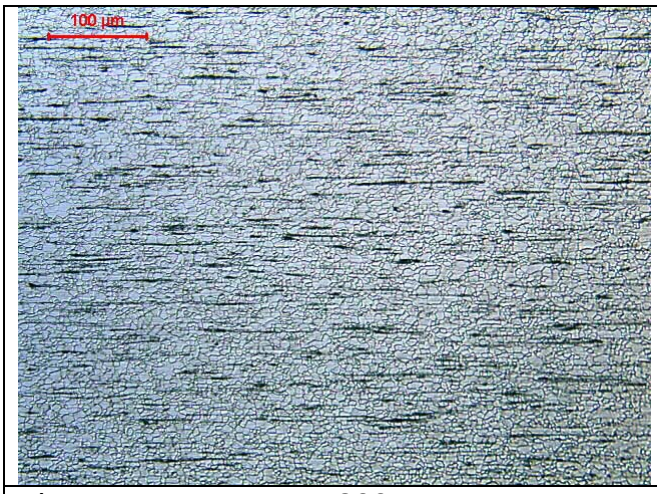


Figura 1 – Amostra 1. 200x

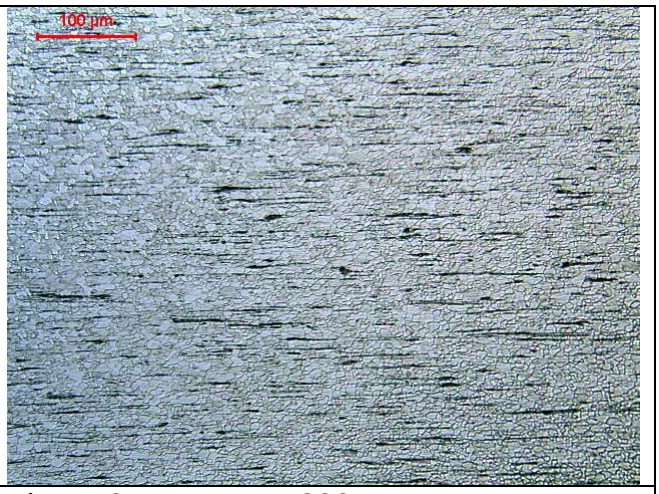


Figura 2 – Amostra. 200x

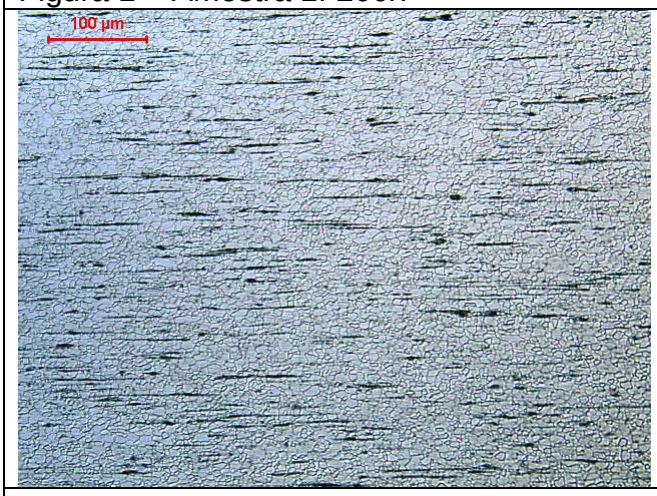


Figura 3 – Amostra 3. 200x

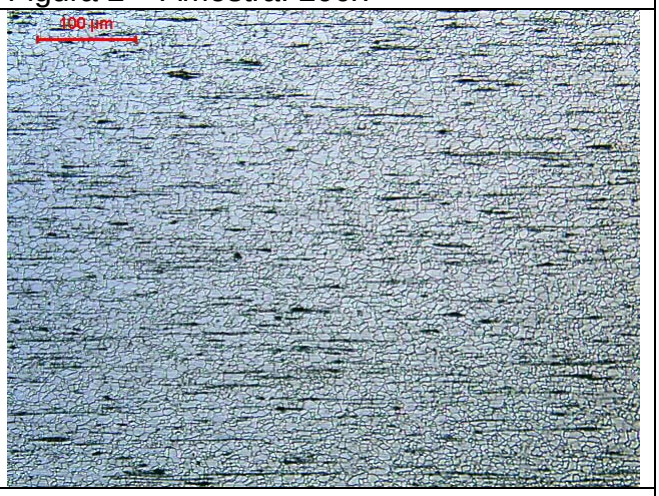


Figura 4 – Amostra 4. 200x

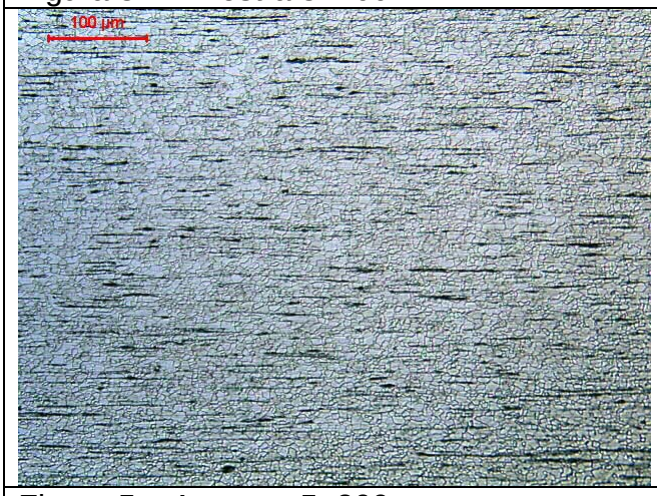


Figura 5 – Amostra 5. 200x

3.4.5 ARAME TREFILADO GALVANIZADO – AÇOMINAS aço 1004

a) Secção Transversal – <u>AMOSTRA 2</u>

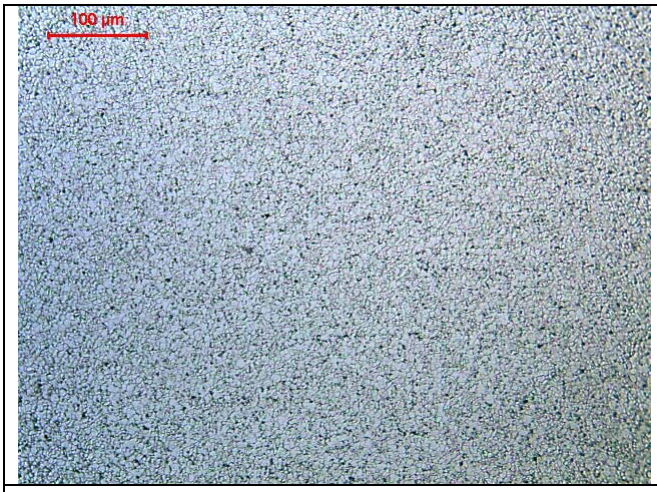


Figura 1 – Amostra 1 – TG 10. 200x

Figura 2 – Amostra 2 – TG 10. 200x

Figura 3 – Amostra 3 – TG 9. 200x

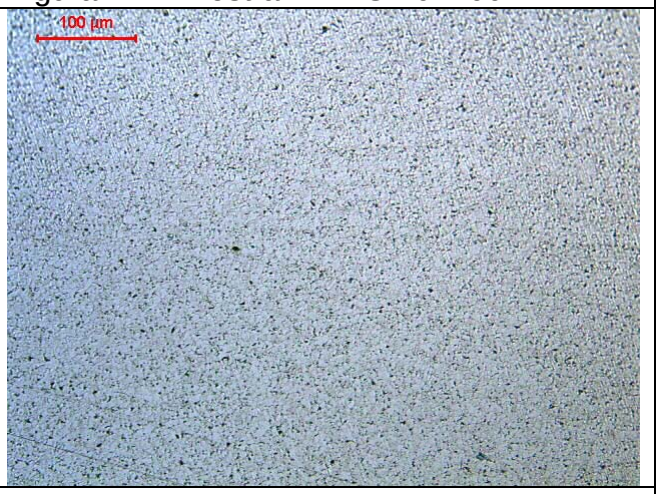


Figura 4 – Amostra 4 – TG 10. 200x

Figura 5 – Amostra 5 – TG 10. 200x

b) Secção Longitudinal - <u>AMOSTRA 2</u>

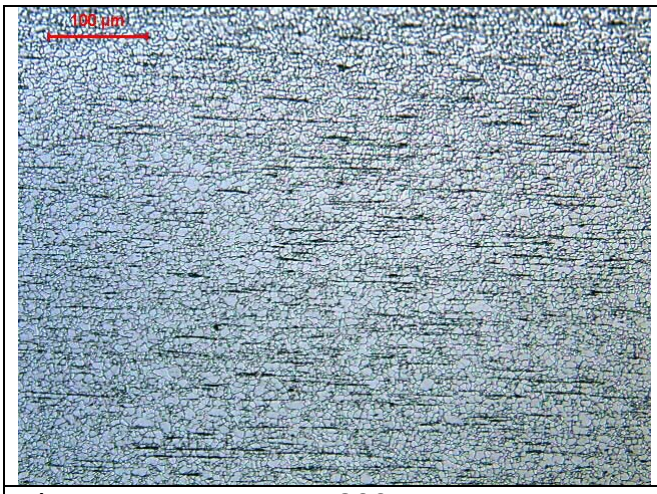


Figura 1 – Amostra 1. 200x

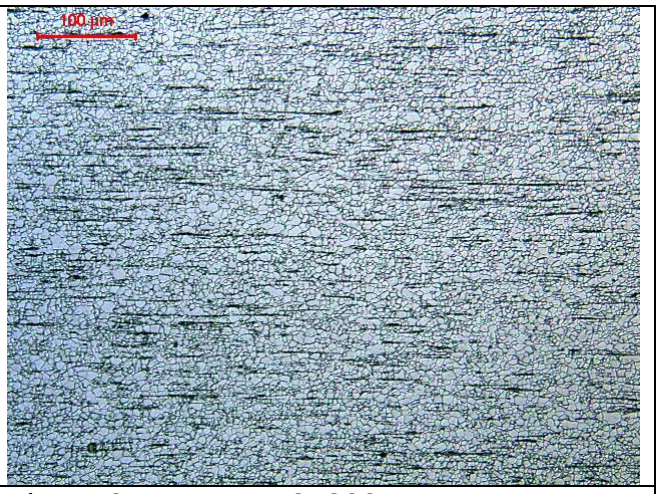


Figura 2 – Amostra 2. 200x

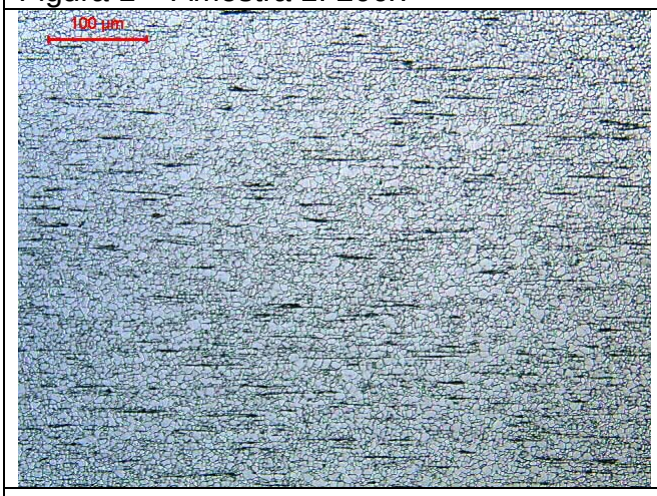


Figura 3 – Amostra 3. 200x

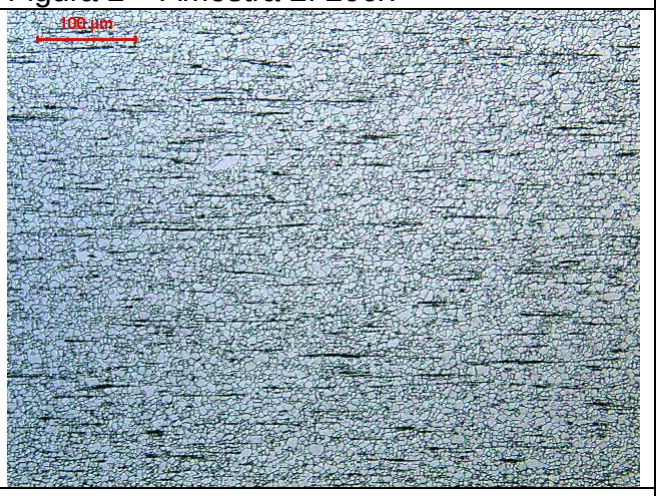


Figura 4 – Amostra 4. 200x

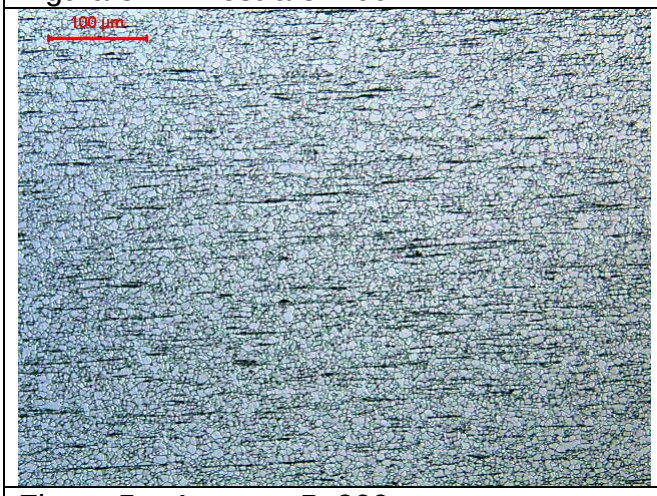


Figura 5 – Amostra 5. 200x

c) Secção Transversal – AMOSTRA 2A

Figura 1 – Amostra 1 – TG 9-10. 200x

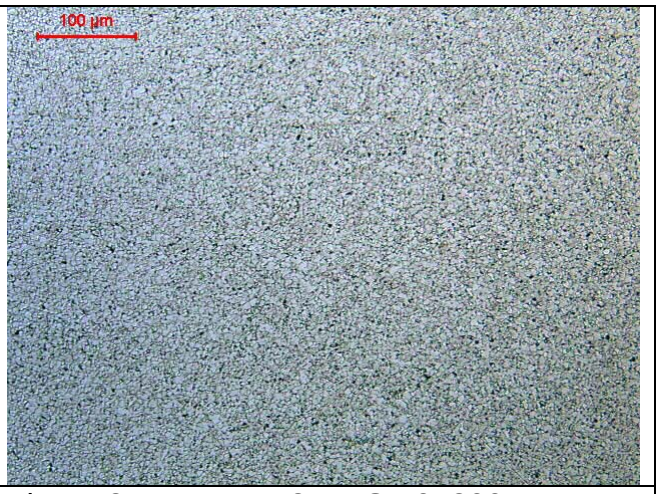


Figura 2 – Amostra 2 – TG 10. 200x

Figura 3 – Amostra 3 – TG 9-10. 200x

Figura 4 – Amostra 4 – TG 10. 200x

Figura 5 – Amostra 5 – TG 9-10. 200x

d) Secção Longitudinal - AMOSTRA 2A

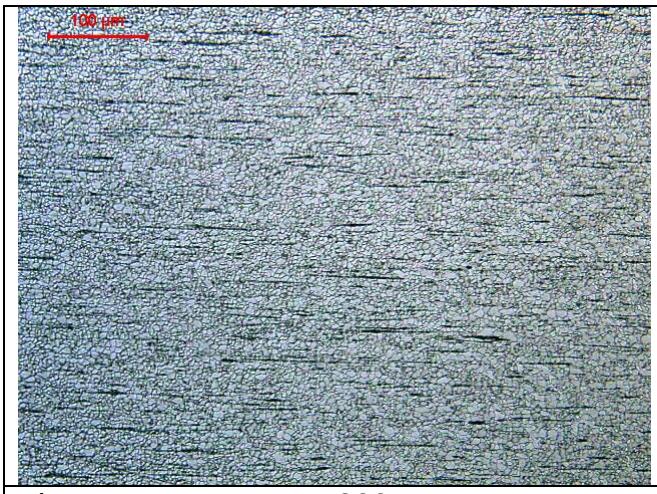


Figura 1 – Amostra 1. 200x

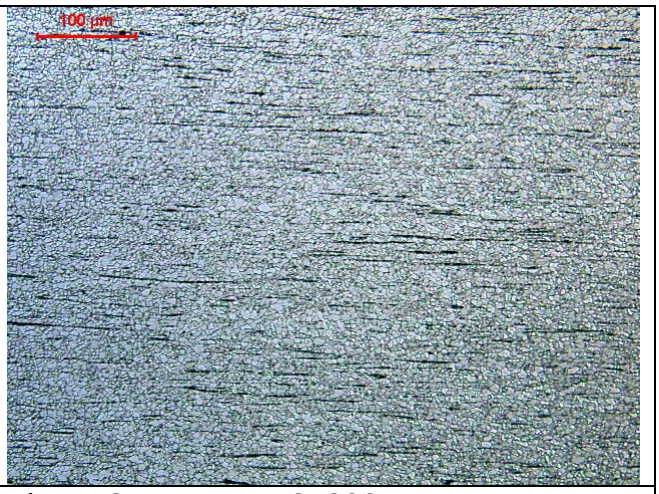


Figura 2 – Amostra 2. 200x

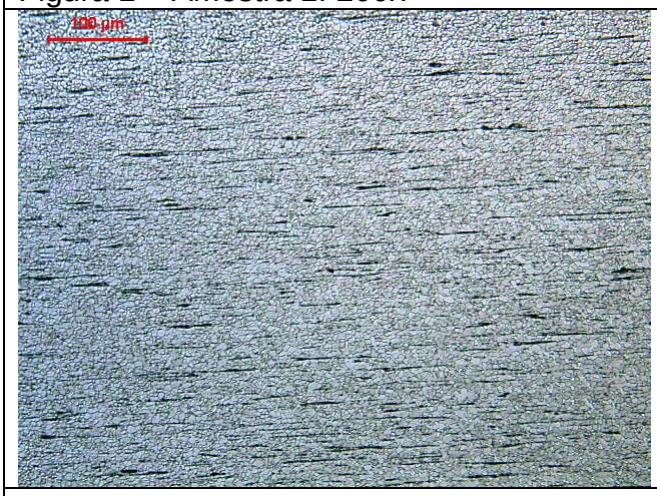


Figura 3 – Amostra 3. 200x

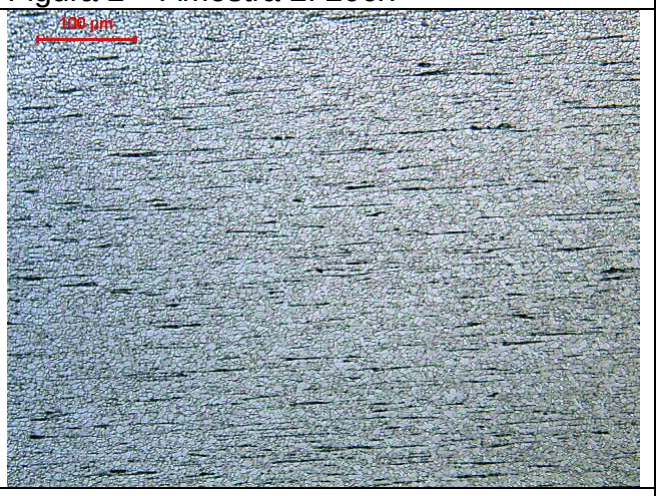


Figura 4 – Amostra 4. 200x

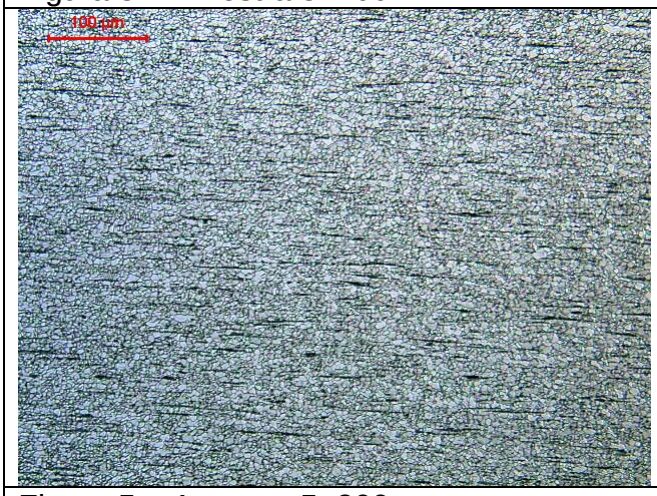


Figura 5 – Amostra 5. 200x

4 Consideração Final

4.1 Quanto à análise química

Como mostra a tabela de resultados da análise química realizada nos FM 5,50 mm URS 1007 e FM 5,50 mm Açominas 1004, verificamos que as amostras atendem, respectivamente, a especificação química designada aos aços GG 1007-F e GG 1004-E.

Especificação Química do aço GG 1007-F

C [%]	Mn [%]	Si[%]	S [%]	P [%]	Cu [%]	Cr [%]	Ni [%]	Sn [%]
- 0,08	0,35 0,55	0,13 0,20	- 0,030	- 0,035	- 0,080	- 0,050	- 0,050	- 0,010

Especificação Química do aço GG 1004-E

C [%]	Mn [%]	Si[%]	S [%]	P [%]	Cu [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]
- 0,06	0,25 0,45	0,05 0,12	- 0,020	- 0,030	- 0,050	- 0,050	- 0,050	- 0,030

Sapucaia do Sul, --- de ------- de 2008

Resp. Análise Química
Karen Silveira

Resp. Ensaios Físicos
Alexsander Otoni R. Vilela