



IQF

INSTITUTO DA QUALIDADE
FERROVIÁRIA

REQUISITOS DE AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE

RODAS FERROVIÁRIAS



SÍNTESE:

Definir os requisitos de validação de conformidade para produção de rodas ferroviárias

ELABORADO POR:

Comitê de roda

Revisão 1 – Junho/2026



SUMÁRIO

1	OBJETIVO.....	5
2	REFERÊNCIAS	5
3	DEFINIÇÕES	6
3.1	Rodas ferroviárias	6
3.2	Roda ferroviária para vagão de carga	7
3.3	Roda ferroviária para trem de passageiros	7
3.4	Roda para veículos de manutenção de via Férrea	8
3.5	Roda para locomotivas	8
3.6	Definições técnicas	8
4	APLICAÇÃO	9
5	PRÉ- REQUISITOS	9
6	VERIFICAÇÕES E ENSAIOS DE RODAS	10
6.1	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	10
6.1.1	Variações Permitidas em Relação aos Limites Especificados.....	11
6.2	ANÁLISE QUÍMICA	11
6.2.1	Método de Ensaio 1	11
6.2.2	Método de Ensaio 2	11
6.2.3	Métodos de amostragem.....	11
6.3	LIMPEZA MICROESTRUTURAL.....	12
6.3.1	Tamanho e Localização da Amostra	12
6.4	DUREZA BRINELL	13
6.4.1	Método de Medição.....	13
7	PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO.....	16
8	JATEAMENTO COM GRANALHA (SHOT PEENING)	16
8.1	REQUISITOS PARA O JATEAMENTO	17
8.1.1	Esfera de aço	17
8.1.2	Controle do tamanho da esfera	17
8.1.3	Intensidade de jateamento	17

8.1.4	Cobertura	19
8.1.5	Medição da cobertura – disco da roda	19
8.1.6	Medição da cobertura – fita de teste Almen C	20
8.2	APARELHO PORTÁTIL DE JATEAMENTO	20
8.3	FREQUÊNCIA DO TESTE	20
8.4	RETESTE.....	20
8.4.1	Reteste para Intensidade	20
8.4.2	Reteste para Cobertura	20
8.4.3	<i>Repeening</i> (Reaplicação do <i>Shot Peening</i>)	21
8.4.4	Retenção de registro	21
9	DIMENSÕES E TOLERÂNCIAS.....	21
10	PAREAMENTO (<i>MATING</i>)	25
11	MEDIDORES	25
12	ACABAMENTO.....	25
12.1	ACABAMENTO SUPERFICIAL:	25
12.2	DEFEITOS SUPERFICIAIS	25
13	MARCAÇÃO DA RODA.....	25
13.1	MARCAÇÃO DO CUBO DE RODAS DE AÇO CARBONO	26
13.2	MARCAÇÕES EM RELEVO EM RODAS FUNDIDAS DE AÇO CARBONO	27
14	QUALIFICAÇÃO DE RODAS	27
14.1	TESTES DE MATERIAIS.....	27
14.1.1	Ensaio de Tração Ambiente e a Quente	27
14.1.2	Ensaio de Dureza	29
14.1.3	Ensaio de Tenacidade a fratura (<i>KIc</i>)	29
14.1.4	Microestrutura	29
14.1.5	Tensões Residuais.....	30
15	DOCUMENTAÇÃO DA RODA	31
15.1	INFORMAÇÕES PRELIMINARES	31
15.2	RESULTADOS DOS ENSAIOS EXIGIDOS	31

16	REGISTROS.....	32
17	PROCEDIMENTOS	32
18	ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS	32
	18.1 INSPEÇÃO POR ULTRASSOM	32
	18.2 INSPEÇÃO POR PARTÍCULA MAGNÉTICA.....	32
19	CALIBRAÇÃO.....	33
20	COMPETÊNCIA	33
21	IDENTIFICAÇÃO DA MARCA DE CONFORMIDADE (CERTIFICAÇÃO)	34



1 OBJETIVO

Este documento define as métricas para produzir, inspecionar e testar rodas ferroviárias de aço carbono forjado e fundido visando garantir o atendimento aos requisitos do projeto. O objetivo é assegurar que as rodas possuam as características técnicas, propriedades mecânicas, dimensões, tolerâncias, critérios de inspeção de ensaios não destrutivos e acabamento superficial garantindo requisitos de especificação para que a roda possa circular no Brasil.

2 REFERÊNCIAS

- AAR M-107/M-208 - *Specification for the Manufacture of Railroad Wheels*;
- EN 13262 - *Railway applications - Wheelsets and bogies - Wheels - Product requirements – British Standard*;
- ISO 22163 - *Sistemas Ferroviários - Sistema de Gestão da Qualidade para Ferroviárias*;
- ASTN STN-TC-1A – *Personnel Qualification and Certification ins Nondestructive Testing*;
- SNQC – Sistema Nacional de Qualificação e Certificação (ABENDI);
- ASTM (American Society for Testing and Materials);
- ASTM E 350 - *Standard Test Methods for Chemical Analysis of Carbon Steel, Low-Alloy Steel, Silicon Electrical Steel, Ingot Iron, and Wrought Iron*;
- ASTM E 1019 - *Standard Test Methods for Determination of Carbon, Sulfur, Nitrogen, and Oxygen in Steel, Iron, Nickel, and Cobalt Alloys by Various Combustion and Inert Gas Fusion Techniques*;
- ASTM E 415 - *Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry*;
- ASTM E1245 *Standard Practice for Determining the Inclusion or Second-Phase Constituent Content of Metals by Automatic Image Analysis*.
- ASTM E10 – *Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials*;
- ASTM E21 - *Standard Test Methods for Elevated Temperature Tension Tests of Metallic Materials*;
- ASTM A370 - *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*;
- ASTM E1806 - *Standard Practice for Sampling Steel and Iron for Determination of Chemical Composition*;
- ASTM E11 - *Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves*;
- SAE J2277 - *Shot Peening Coverage Determination*;
- SAE J443 - *Procedures for Using Standard Shot Peening Almen Strip*.

3 DEFINIÇÕES

As rodas ferroviárias são projetadas para uso em trens de passageiros, veículos de manutenção de vias férreas, vagões de carga e locomotivas. A geometria da roda possui partes essenciais como pista de rolamento, friso, aro, disco e cubo. O perfil de pista de rolamento da roda é projetado para garantir estabilidade e segurança na circulação sobre os trilhos, com uma conicidade típica que auxilia no centramento do veículo e reduz o desgaste desigual dos trilhos. A roda recebe os esforços provenientes dos veículos e os transfere aos trilhos em um contato direto metal-metal, o contato roda-trilho. No Brasil, a norma AAR M-107/M-208 é amplamente adotada para especificação e fabricação dessas rodas.

3.1 Rodas ferroviárias

A função das rodas é integrar a infraestrutura dos veículos. As rodas são montadas, uma em cada extremidade de um eixo, totalizando oito rodas em vagões de carga e carros de passageiros, e de oito a dezesseis rodas em locomotivas e veículos de manutenção da via férrea.

As finalidades das rodas são: suportar o peso dos veículos ferroviários, guiá-los em curvas e mantê-los centralizados nas retas dos trilhos da linha férrea. As rodas são classificadas em:

- a) Vida única (ou uma vida);
- b) Vida dupla (ou duas vidas);
- c) Múltiplas vidas.

No Brasil, as rodas são fabricadas em múltiplas vidas, ou seja, à medida que ocorre desgaste, a ferrovia pode realizar um processo de usinagem para recompor as características dimensionais e retorná-las à condição ideal de operação. As dimensões das rodas utilizadas pelas ferrovias no Brasil variam de 28 polegadas a 43 polegadas de diâmetro e o peso está no intervalo de 200 kg a 600 kg. O disco das rodas possui diferentes tipos de geometrias que influenciam seu desempenho mecânico e durabilidade. No Brasil, os seguintes tipos de disco são utilizados:

Disco Parabólico e Disco "S - *Low Stress*": ambos possuem tecnologia parabólica para melhor distribuição de tensões e resistência aos esforços estáticos e térmicos gerados na roda durante a operação e a frenagem. No Brasil, o uso do disco reto é proibido devido à elevada taxa de falha.

3.2 Roda ferroviária para vagão de carga

As rodas de vagões de carga no Brasil são aplicadas em sua maioria a operação *Heavy Haul*, conforme tabela para serviços de vagão de carga abaixo, a fim de garantir o movimento seguro do vagão sobre os trilhos e resistir aos esforços durante a operação ferroviária em condições normais, atentando para os limites da roda e dos demais componentes do vagão e da via permanente. No mercado de vagões de carga, destaca-se as diretrizes e recomendações *AAR interchange service*.

TIPOS PADRÃO DE RODAS AAR — PERFIL DE FRISO LARGO — PARA SERVIÇO EM VAGÕES DE CARGA — AÇO CARBONO										
TIPO AAR	E-28 / CE-28	D-29 / CD-29	A-30 / CA-30	J-33 / CJ-33	P-33 / CP-33	K-36 / CK-36	B-38 / CB-38	C-38 / CC-38	D-38 / CD-38	M-M8/ CM-38
STATUS	Padrão	-	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão	-	-
DATA DO PADRÃO	1985	-	1946	1956	1984	1962	1964	1964	-	-
DATA DE ENTRADA EM VIGOR	7/1/85	-	1971	1968	3/1/85	1968	9/1/73	1968	-	-
TIPO DE SUPERFÍCIE DE RODAGEM	1-W	-	M-W	1-W	M-W	M-W	1-W	2-W	M-W	-
CLASSE DE EIXO PREVISTA	E	-	F, K	D, E	D, E, F, G	F, K	G	G	G	-
CAPACIDADE MÁXIMA POR RODA (lb)	24375	-	32875	27500	32875	35750	39375	39375	39375	-
CAPACIDADE MÁXIMA POR RODA (t)	11,06	-	14,91	12,47	14,91	16,22	17,86	17,86	17,86	-

Tabela 1 – Tipos Padrão de Rodas AAR – Friso Largo – Vagões de carga

3.3 Roda ferroviária para trem de passageiros

A roda é projetada para suportar as cargas dinâmicas e estáticas dos veículos ferroviários, garantindo segurança, conforto e eficiência operacional.

As rodas de trens de passageiros frequentemente possuem furos roscados no diâmetro do cubo para acoplamento do disco de freio. Rodas destinadas ao transporte de passageiros são tipicamente forjadas em aço para uso em alta velocidade, rodas ferroviárias de carga operam tipicamente em velocidades mais baixas que as de passageiros para priorizar cargas pesadas e durabilidade. Altas velocidades de rodagem no Brasil são consideradas as rodas que trafegam acima de 80 km/h (ANTT), essa restrição prioriza segurança em vias com bitola métrica ou larga, considerando fatores como lastro, geometria de trilhos e curvas para transporte de carga (ANTT). Para rodas de alta rodagem (>80 km/h), concessionárias precisam pactuar metas com ANTT, investindo em manutenção para evitar acidentes. Dessa forma para aplicações até essa velocidade a roda em aço fundido é uma opção disponível no mercado para transporte de carga e passageiro.

3.4 Roda para veículos de manutenção de via Férrea

As rodas são utilizadas em equipamentos especializados para realizar manutenção em equipamento de via permanente, garantindo segurança e eficiência na circulação dos trens.

3.5 Roda para locomotivas

As rodas de locomotivas são manufaturadas para suportar o peso da locomotiva, transmitir a força para o movimento sobre os trilhos e garantir a aderência para a tração. Nas principais ferrovias brasileiras, na América do Sul e nas montadoras, as rodas de locomotivas possuem dimensional específico para garantir as interferências de montagem nas caixas de tração e freio.

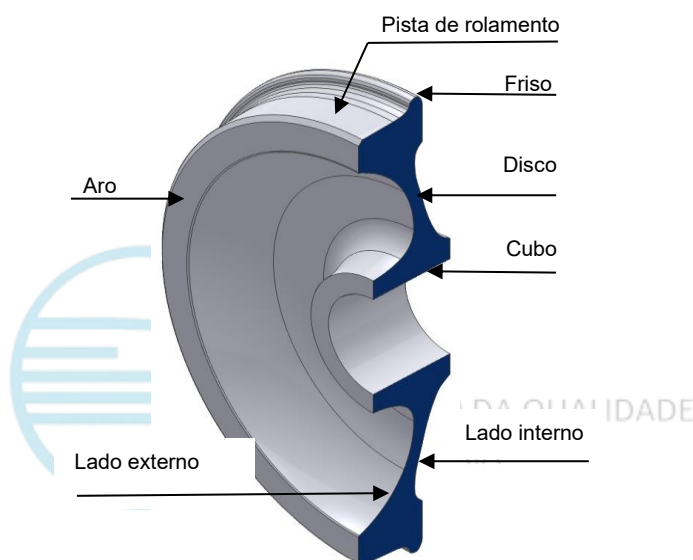


Figura 1 – Desenho ilustrativo de uma roda

3.6 Definições técnicas

GAGE LINE (LINHA DE REFERÊNCIA DA BITOLA)

Trata-se de uma linha de referência utilizada para medições no contato entre roda e trilho, empregada como base para o dimensionamento de determinadas cotas da roda. Essa linha está posicionada a 5/8 de polegada (15,875 mm) abaixo do topo da cabeça do trilho e corresponde ao ponto da roda onde ocorre o contato funcional com o trilho.

Essa linha de referência é utilizada para a determinação de dimensões relevantes do perfil da roda, tais como o diâmetro na linha de bitola, a conicidade e a distância entre frisos, sendo essencial para assegurar a correta interação roda-trilho, o desempenho seguro e a padronização do sistema ferroviário (Figura 8).

BASELINE (LINHA DE BASE)

É uma linha de referência horizontal usada nos desenhos de perfis de rodas para medir alturas verticais, como a do friso e da bandagem. Ela representa uma base fixa a partir da qual são tomadas as cotas verticais do perfil da roda, sendo essencial para a padronização do formato e para garantir a correta usinagem e montagem da roda no conjunto ferroviário (Figura 8).

TAPE LINE (LINHA TAPE)

A *tape line* é a linha de referência no perfil da roda usada para medir o diâmetro da roda com fita tape ou equipamento automatizado durante inspeções, permitindo realizar o pareamento das rodas em um mesmo eixo e verificar o desgaste sem desmontar a roda. Ela fica próxima à superfície de rolamento e ajuda a indicar se a roda obedece aos critérios estabelecidos de diâmetro (Figura 8).

INSPECTION OF GAGE LINE AND 1:20 TAPER (INTERSEÇÃO DA LINHA DE REFERÊNCIA DA BITOLA E INCLINAÇÃO 1:20)

Refere-se à verificação da linha de bitola da roda e da inclinação da pista de rodagem (conicidade 1:20) para garantir a conicidade adequada e o contato correto entre roda / trilho (Figura 8).

GAGE POINT (PONTO DE MEDIÇÃO DA BITOLA)

É o ponto específico no perfil da roda onde a linha de referência da bitola (*gage line*) toca o trilho, servindo como referência para medir a bitola e verificar o correto alinhamento e desgaste da roda (Figura 8).

4 APLICAÇÃO

Fabricação de rodas ferroviárias.

5 PRÉ- REQUISITOS

- a) Aço forjado ou fundido;
- b) Composição química;
- c) Tratamento térmico de normalização, têmpera no aro, seguido de revenimento;
- d) Tensão de compressão após a etapa de tratamento térmico;
- e) Inspeção de Partícula Magnética, UT e medição de Dureza Brinnel em 100% das rodas;
- f) O *shot peening* como última operação, após processos mecânicos no disco das rodas para adição de tensão de compressão;
- g) Dimensional conforme projeto.

6 VERIFICAÇÕES E ENSAIOS DE RODAS

6.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A composição química deve atender todos os elementos listados a seguir com seus respectivos teores, para cada tipo de roda:

Elemento	Análise da Panela (%)			
	Classe L	Classe A	Classe B	Classe C
Carbono (C)	0,47 máx.	0,47-0,57	0,57-0,67	0,67-0,77
Manganês (Mn)	0,60-0,90	0,60-0,90	0,60-0,90	0,60-0,90
Fósforo (P)	0,025 máx.	0,025 máx.	0,025 máx.	0,025 máx.
Enxofre (S)	0,005-0,025	0,005-0,025	0,005-0,025	0,005-0,025
Silício (Si)	0,5 – 0,75	0,5 – 0,75	0,5 – 0,75	0,5 – 0,75
Elementos residuais				
Níquel (Ni)	0,25 máx. (*)	0,25 máx. (*)	0,25 máx. (*)	0,25 máx. (*)
Cromo (Cr)	0,25 máx. (*)	0,25 máx. (*)	0,25 máx. (*)	0,25 máx. (*)
Molibdênio (Mo)	0,10 máx. (*)	0,10 máx. (*)	0,10 máx. (*)	0,10 máx. (*)
Vanádio (V)	0,040 máx. (*)	0,040 máx. (*)	0,040 máx. (*)	0,040 máx. (*)
Cobre (Cu)	0,35 máx.	0,35 máx.	0,35 máx.	0,35 máx.
Alumínio (Al)	0,007 máx.	0,007 máx.	0,007 máx.	0,007 máx.
Titânio (Ti)	0,03 máx.	0,03 máx.	0,03 máx.	0,03 máx.
Nióbio (Nb)	0,05 máx.	0,05 máx.	0,05 máx.	0,05 máx.
Chumbo (Pb)	0,01 máx.	0,01 máx.	0,01 máx.	0,01 máx.
Estanho (Sn)	0,01 máx.	0,01 máx.	0,01 máx.	0,01 máx.
Boro (B)	0,0003 máx.	0,0003 máx.	0,0003 máx.	0,0003 máx.
Zircônio (Zr)	0,01 máx.	0,01 máx.	0,01 máx.	0,01 máx.
Antimônio (As)	0,01 máx.	0,01 máx.	0,01 máx.	0,01 máx.
Zinco (Zn)	0,04 máx.	0,04 máx.	0,04 máx.	0,04 máx.
Cobalto (Co)	0,08 máx.	0,08 máx.	0,08 máx.	0,08 máx.
Tungstênio (W)	0,01 máx.	0,01 máx.	0,01 máx.	0,01 máx.

Tabela 2 – Requisitos químicos

(*) Se o fabricante optar por variar os limites acima para níquel, cromo, molibdênio e vanádio, a seguinte fórmula deverá ser atendida:

$930 - [570 \times \% \text{ de carbono}] - [80 \times \% \text{ de manganês}] - [20 \times \% \text{ de silício}] - [50 \times \% \text{ de cromo}] - [30 \times \% \text{ de níquel}] - [20 \times (\% \text{ de molibdênio} + \% \text{ de vanádio})] > 390$.

A composição química deve ser validada após a conclusão do processo de elaboração do aço (corrida/lote) e ela também será verificada no produto (roda), nesse caso a amostra deve ser removida da região do friso (ensaio destrutivo).

6.1.1 Variações Permitidas em Relação aos Limites Especificados

As seguintes tolerâncias são permitidas entre a análise de verificação e os limites químicos especificados:

Carbono ±0,04	Manganês ±0,03	Fósforo +0,008	Enxofre ±0,005	Silício ±0,05	-	-	-
Níquel +0,03	Cromo +0,03	Molibdênio +0,01	Vanádio +0,01	Cobre +0,03	Alumínio +0,01	Titânio +0,05	Columbium +0,02

Tabela 3 – Variações da análise de verificação em relação à análise da panela

6.2 ANÁLISE QUÍMICA

A análise química de cada corrida de aço deverá ser realizada por um dos métodos de ensaio listados abaixo. Todas as análises devem indicar qual método foi utilizado para a determinação do carbono e dos demais elementos da composição química.

6.2.1 Método de Ensaio 1

A análise de carbono pode ser realizada por um dos métodos listados abaixo, todos baseados em normas ASTM (*American Society for Testing and Materials*):

- Método Gravimétrico de Combustão (ASTM E-350);
- Condutividade Térmica após Combustão (ASTM E-1019);
- Análise por Infravermelho após Combustão (ASTM E-1019).

6.2.2 Método de Ensaio 2

Análise química geral pode ser feita por Espectrometria Óptica de Emissão a Vácuo (ASTM E-415). É essencial que o método utilizado seja sempre documentado.

6.2.3 Métodos de amostragem

No caso de indisponibilidade da análise de composição química ser realizada no friso ou no aro da roda, o laboratório designado deverá empregar uma prática de amostragem padronizada. Essa prática deve estar em conformidade com o ASTM E-1806, intitulado “Prática Padrão para Amostragem de Aço e Ferro para Determinação de Composição Química”. Subsequentemente, a análise química da amostra coletada deve ser realizada utilizando os métodos ASTM E-350 ou E-1019, conforme descrito nas seções 6.2.1 e 6.2.2.

6.3 LIMPEZA MICROESTRUTURAL

A limpeza metalúrgica do aço da roda deve ser determinada a partir de amostras retiradas de rodas selecionadas aleatoriamente, representando uma corrida de aço. Os fabricantes devem comprovar a limpeza microestrutural do aço utilizado nas rodas, conforme as diretrizes estabelecidas na Seção 9 da norma AAR M-107/M-208 última revisão e nesta seção. A preparação e avaliação das amostras para essa análise devem seguir os procedimentos descritos na Prática Padrão ASTM E1245.

Por unidade fabril, devem ser testadas, no mínimo, duas rodas de modelos diferentes e de aplicações diversificadas por trimestre. Para que a análise de limpeza microestrutural (*microcleanliness*) seja válida, o laboratório responsável deve possuir a certificação AAR M-107/M-208.

6.3.1 Tamanho e Localização da Amostra

Devem ser retiradas, no mínimo, seis amostras de cada roda testada, distribuídas aproximadamente de forma equidistante ao redor da circunferência da roda. Cada amostra deve medir 22,22 mm no sentido circunferencial (direção de laminação), 19,05 mm na direção axial (largura do aro) e 12,7 mm na direção radial (espessura do aro). A superfície circunferencial utilizada para avaliação da limpeza microestrutural deve estar localizada a 12 mm abaixo da bandagem da roda e a uma distância de 73 mm da face traseira do aro. As tolerâncias dimensionais são de $\pm 3,175$ mm.

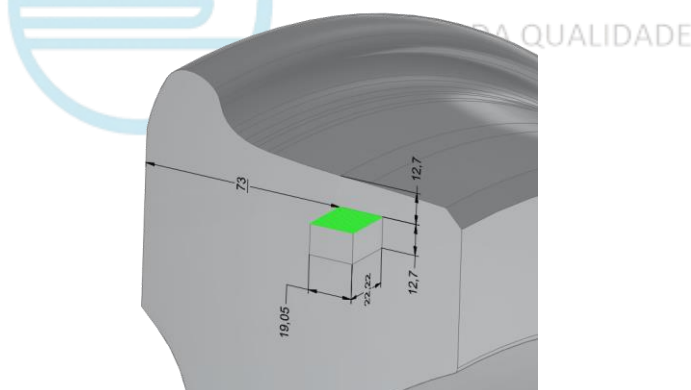


Figura 2 – Localização da Amostra (Dimensional em mm)

6.4 DUREZA BRINELL

A dureza do aro, deve ser mensurada conforme os requisitos do item 6.4.1 e deverá apresentar os seguintes valores:

Classe	Dureza Mínima	Dureza Máxima
L	197 HBW	277 HBW
A	255 HBW	321 HBW
B	302 HBW	341 HBW
C	321 HBW	363 HBW
D	341 HBW	415 HBW

Tabela 4 – Dureza Brinell do aro

Nota: Rodas de liga de aço Classe D devem atender a todos os requisitos químicos das rodas classe C.

6.4.1 Método de Medição

O procedimento deve seguir as diretrizes estabelecidas na versão mais atual da norma ASTM E-10. A frequência de medição da dureza no aro das rodas deve ser realizada em 100% das rodas fabricadas e o laudo deve ser validado conforme ASTM E-10.

Antes da execução do ensaio, é necessário garantir que a área selecionada esteja livre de qualquer camada decarbonizada. A superfície também deve ser devidamente preparada para assegurar a confiabilidade e a exatidão dos resultados obtidos.

A roda é considerada aprovada conforme critérios das tabelas 5 e 6 e o mapeamento da dureza deve ser realizado conforme figuras 3A, 3B e 3C.

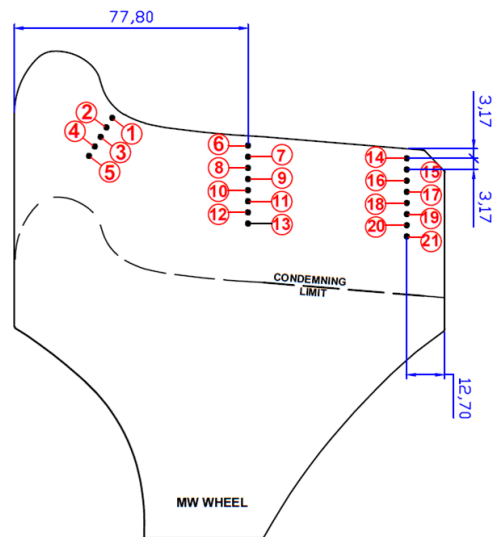


Figura 3A – Mapa de Dureza HRC (Dimensional em mm)

O valor de dureza Brinell no ponto do disco (16 na figura abaixo) deve ser pelo menos 20 pontos menor que o menor valor real medido no limite de condenação.

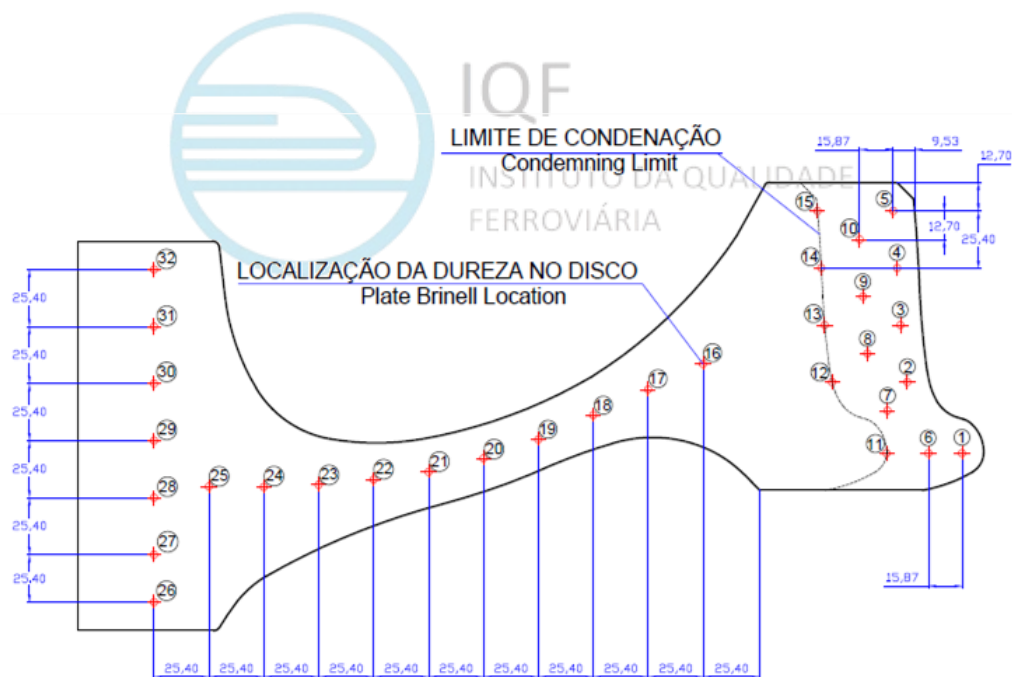


Figura 3B – Mapa de Dureza HB (Dimensional em mm)

A dureza do aro da roda deve ser superior a 380 HB. A medição inicial deve ser realizada pelo fornecedor e o valor reportado ao laboratório para a composição do relatório de análise. Durante o processo produtivo, 100% das rodas devem ser submetidas ao ensaio de dureza no aro, cujos resultados devem ser formalizados via certificado de qualidade.

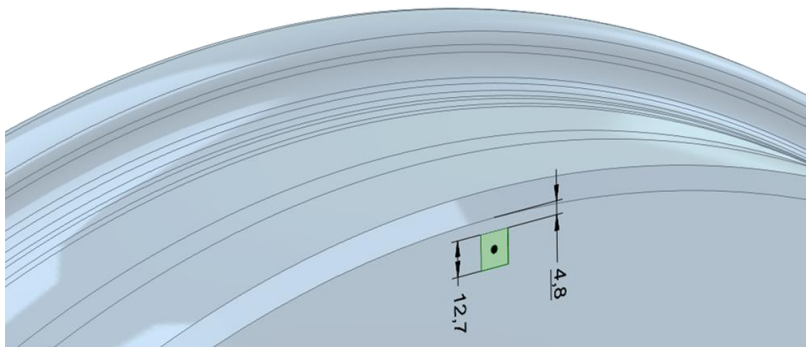


Figura 3C – Dimensional - Medição no Aro

Se uma roda falhar no teste inicial, ela deve passar por uma verificação com duas medições adicionais de dureza, a aproximadamente 1 polegada de distância do ponto inicial. Se ambas as medições adicionais estiverem dentro dos padrões, a roda é considerada aprovada.

Para novos projetos ou processos alterados, deve-se realizar um teste de dureza em pelo menos uma roda das cinco primeiras corridas de aço. Com relação ao mapa de dureza, o ponto medido no disco deve ser 20 HBW menor que o menor valor de dureza medido no limite de condenação, conforme indicado em tabelas e figuras de referência, para garantir a distribuição adequada da dureza.

Classe	Mínimo	Máximo	Máximo da placa
B	285 HBW	341 HBW	A(mín.) ^(*) –20 HBW
C	301 HBW	363 HBW	A(mín.) ^(*) –20 HBW
D	321 HBW	415 HBW	A(mín.) ^(*) –20 HBW

^(*) A(mín.) = Dureza mínima medida

Tabela 5 – Faixas aceitáveis de dureza Brinell

Classe	Mínimo	Máximo
B	28 HRC	40 HRC
C	30 HRC	42 HRC
D	32 HRC	44 HRC

Tabela 6 – Faixas aceitáveis de dureza Rockwell

Se os valores de dureza não atenderem aos requisitos das tabelas 5 e 6, cinco rodas adicionais de cinco corridas distintas devem ser testadas. Se uma ou mais dessas cinco rodas falharem, os testes de dureza devem ser repetidos após o fabricante implementar alterações no processo ou no projeto. Além disso, todas as rodas das corridas reprovadas poderão ser retratadas termicamente.

7 PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO

A proteção deve ser fornecida nas áreas de usinagem que serão utilizadas para montagem de componentes.

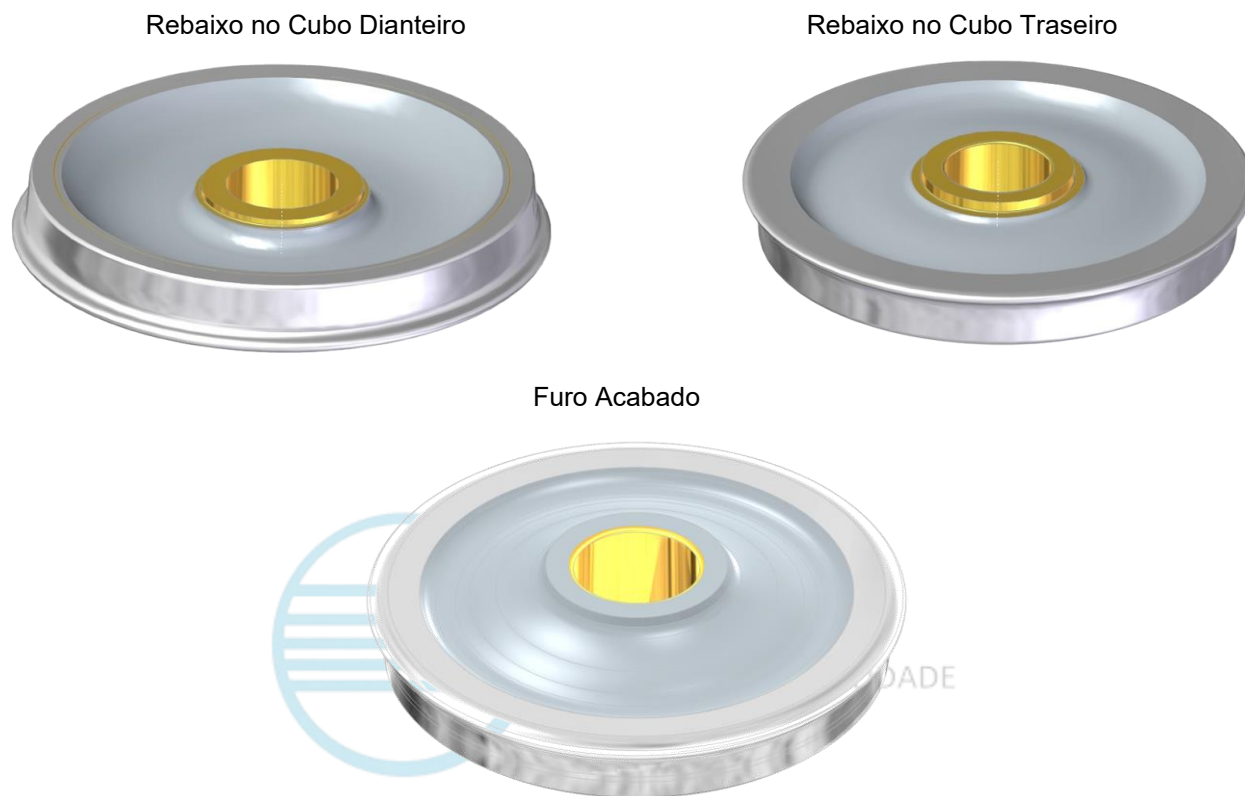


Figura 4 – Regiões críticas para proteção

8 JATEAMENTO COM GRANALHA (*SHOT PEENING*)

Os fabricantes devem seguir procedimentos de jateamento com granalha para melhorar a resistência à fadiga e à corrosão das rodas de aço.

O jateamento utilizando granalha (*shoot peening*) tem por objetivo melhorar a resistência à fadiga em ambos os lados do disco, introduzindo tensões compressivas residuais na superfície do disco da roda. Todas as rodas devem passar pelo jateamento de granalha na área do disco, com intensidade uniforme, bem como com cobertura uniforme e completa. A intensidade do jateamento é função das propriedades de impacto da esfera de aço: massa, dureza, velocidade, ângulo de impacto e distância da superfície (fita de Almen C ou superfície do disco da roda). Cobertura é definida como porcentagem da superfície atingida pelo jateamento, a qual está relacionada com o tempo de exposição, dureza da superfície,

tamanho e dureza da esfera e sua intensidade. A efetividade do jateamento está diretamente relacionada com a intensidade e cobertura.

O jateamento deve ser feito na parte interna e externa do disco da roda. Após qualquer correção ou reparo na área do disco, este deve ser jateado novamente.

8.1 REQUISITOS PARA O JATEAMENTO

8.1.1 Esfera de aço

Utilizar granalha tamanho mínimo SAE S660 (Gralha utilizada S660 e/ou S660M) ou equivalente aço alto carbono de acordo com o especificado na SAE J444 e SAE J827 última revisão.

8.1.2 Controle do tamanho da esfera

As máquinas de jateamento de granalha devem ser equipadas com separador para remoção contínua das esferas quebradas. No mínimo, deve ser mantido no equipamento de jateamento 85% de esferas que atendam a ASTM E11-15, com peneira N°14.

8.1.3 Intensidade de jateamento

A intensidade de jateamento deve ser acompanhada da curva de saturação que corresponde a produção do processo de jateamento conforme a SAE J443-2010 (ver Figura 5). A intensidade de jateamento no disco da roda deve ser medida por meio de fita normalizada de Almen C conforme SAE J442-2013. A intensidade de jateamento deve ser suficiente para produzir uma altura mínima de arco de 0,254 mm (0,010 polegadas) no corpo de prova Almen C para atingir a saturação. A curva de saturação deve ser desenvolvida para roda de maior e menor diâmetro produzida. O registro de saturação deve ser feito na instalação de um novo equipamento e após reformas ou grandes reparos no equipamento que afete a medida da intensidade.

O tempo de jateamento de cada roda produzida não deve ser inferior ao tempo necessário para atingir a saturação determinada pela curva de saturação do equipamento. O tempo mínimo de jateamento para roda de maior diâmetro pode ser usado também para as de menor diâmetro. Os parâmetros de processo e procedimentos estabelecidos, devem ser documentados e colocados em cada máquina para cada tipo de roda jateada.

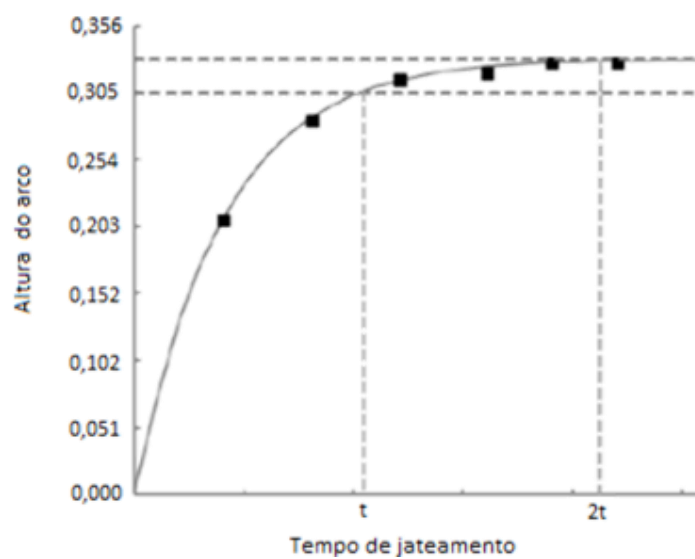


Figura 5 – Curva de saturação do jateamento com granalha



Figura 6A) Localização da tira Almen C no disco dianteiro

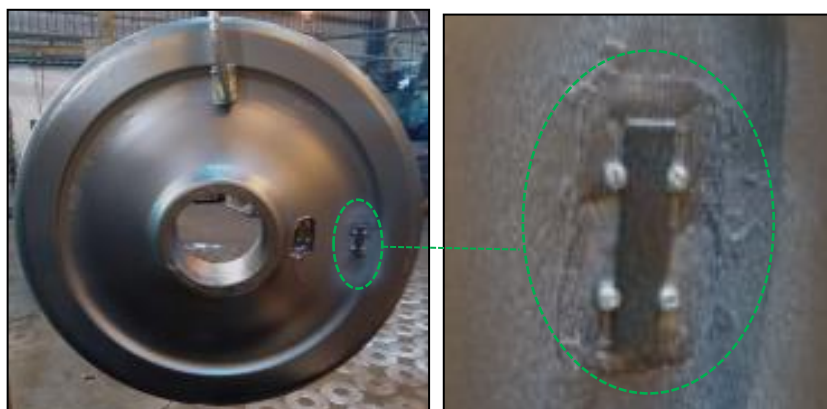


Figura 6B) Localização da tira Almen C no disco traseiro

8.1.4 Cobertura

As regiões dos discos interno e externo devem ser cobertas pelo jateamento. Áreas dos discos que apresentem tensões radiais ou circunferenciais significativas como mostradas no desenho de rodas a serem utilizadas, ou “V2+Th” da Norma S-660, também devem ser jateadas.

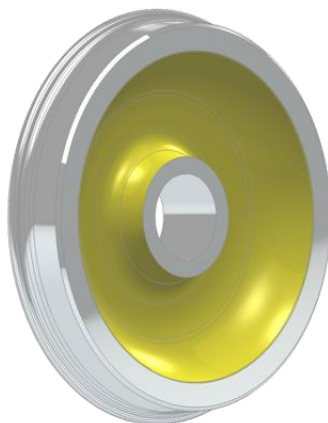


Figura 7A) Área de cobertura do jateamento no disco dianteiro

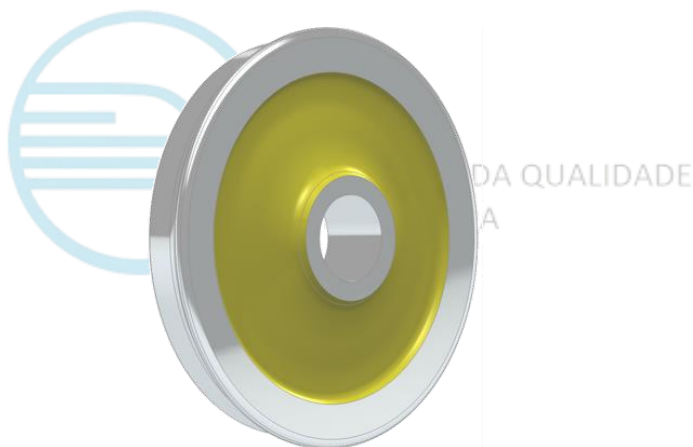


Figura 7B) Área de cobertura do jateamento no disco traseiro

8.1.5 Medição da cobertura – disco da roda

A medição da cobertura deve ser feita em uma roda inicialmente sem jateamento conforme SAE J2277-2013 para assegurar uma cobertura completa (maior que 98%) na área determinada. A medição da cobertura deve ser registrada e arquivada para comprovar a rastreabilidade da roda testada.

8.1.6 Medição da cobertura – fita de teste Almen C

A fita de teste de cobertura Almen C deve ser conforme SAE J2277-2013, com a frequência de ensaio determinada no item 8.3, a fita de Almen C deve ter mais de 98% de cobertura.

8.2 APARELHO PORTÁTIL DE JATEAMENTO

O aparelho portátil pode ser usado para repassar pequenas áreas recondicionadas (menores que 152,5 mm²) na região do disco, excluindo-se as áreas críticas (cubo dianteiro e raio do aro interno das rodas de projeto padrão, cubo interno e raio frontal do disco das rodas com disco invertido). O equipamento portátil deve ser capaz de cobrir toda extensão do corpo de prova Almen C e promover arco maior que 0,25 mm. O tempo de jateamento do disco das rodas deve ser pelo menos igual ao tempo requerido para promover 0,25 mm de deformação no corpo de prova Almen C. O equipamento deve ser testado com o corpo de prova Almen C a cada 8 horas de trabalho, mantendo-se registros destes testes.

8.3 FREQUÊNCIA DO TESTE

Determinação da altura do arco e da cobertura deve ser feita utilizando tiras Almen C certificadas, fixadas a uma roda de teste conforme especificado no item 8.1.3, no início e no final de cada turno de produção, mas não menos que uma vez a cada 8 horas de operação.

A determinação da cobertura deve ser realizada na configuração inicial do processo e pelo menos uma vez por mês, sendo registrado o resultado da inspeção mensal da cobertura da roda. O fabricante deve manter um processo capaz de garantir cobertura total e consistente em cada roda.

8.4 RETESTE

8.4.1 Reteste para Intensidade

Se um teste não atender aos requisitos de intensidade, conforme determinado pela medição de uma altura de arco de 0,010" Almen C, devem ser realizados dois retestes com todos os controles da máquina de *shot peening* mantidos inalterados. Esses retestes devem ser calculados junto com o teste inicial. A média dos três testes não deve ser inferior a 0,010" Almen C, e no máximo um dos três valores pode ser menor que 0,010" Almen C.

8.4.2 Reteste para Cobertura

Se um teste na roda padrão não atender aos requisitos de cobertura, deve ser realizado um único reteste com todos os controles da máquina de *shot peening* mantidos inalterados. O reteste de cobertura deve atender aos requisitos estabelecidos no parágrafo 8.1.5.

Se um teste na tira Almen C não atender aos requisitos de cobertura, deve ser realizado um único reteste com todos os controles da máquina de *shot peening* mantidos inalterados. O reteste de cobertura deve atender aos requisitos estabelecidos no parágrafo 8.1.6.

8.4.3 *Repeening* (Reaplicação do *Shot Peening*)

Quando os valores do teste não atenderem às disposições do parágrafo 8.4.1 para intensidade, deve-se iniciar ação corretiva e obter valores satisfatórios antes de prosseguir com o *shot peening* de produção. Todas as rodas jateadas desde o último teste satisfatório devem ser reaplicadas com exposição completa.

Para falha em atender aos requisitos de cobertura conforme o parágrafo 8.4.2, deve-se iniciar ação corretiva e obter valores satisfatórios antes de prosseguir com o *shot peening* de produção. Todas as rodas jateadas antes do teste com falha (mas após o último teste satisfatório) devem ser reinspecionadas para cobertura incompleta. Rodas que apresentarem evidência de cobertura incompleta devem ser reaplicadas com exposição completa.

8.4.4 Retenção de registro

Os registros do *shot peening* devem ser mantidos por pelo menos 7 anos.

9 DIMENSÕES E TOLERÂNCIAS

As rodas devem estar em conformidade com as dimensões e tolerâncias especificadas na figura 8 e tabelas 7 e 8.

As variações e tolerâncias que não estão explicitamente representadas nas figuras encontram-se descritas no parágrafo 9 do Apêndice B da norma AAR M-107/M-208. O atendimento a esses requisitos é essencial para assegurar sua conformidade dimensional e desempenho funcional.

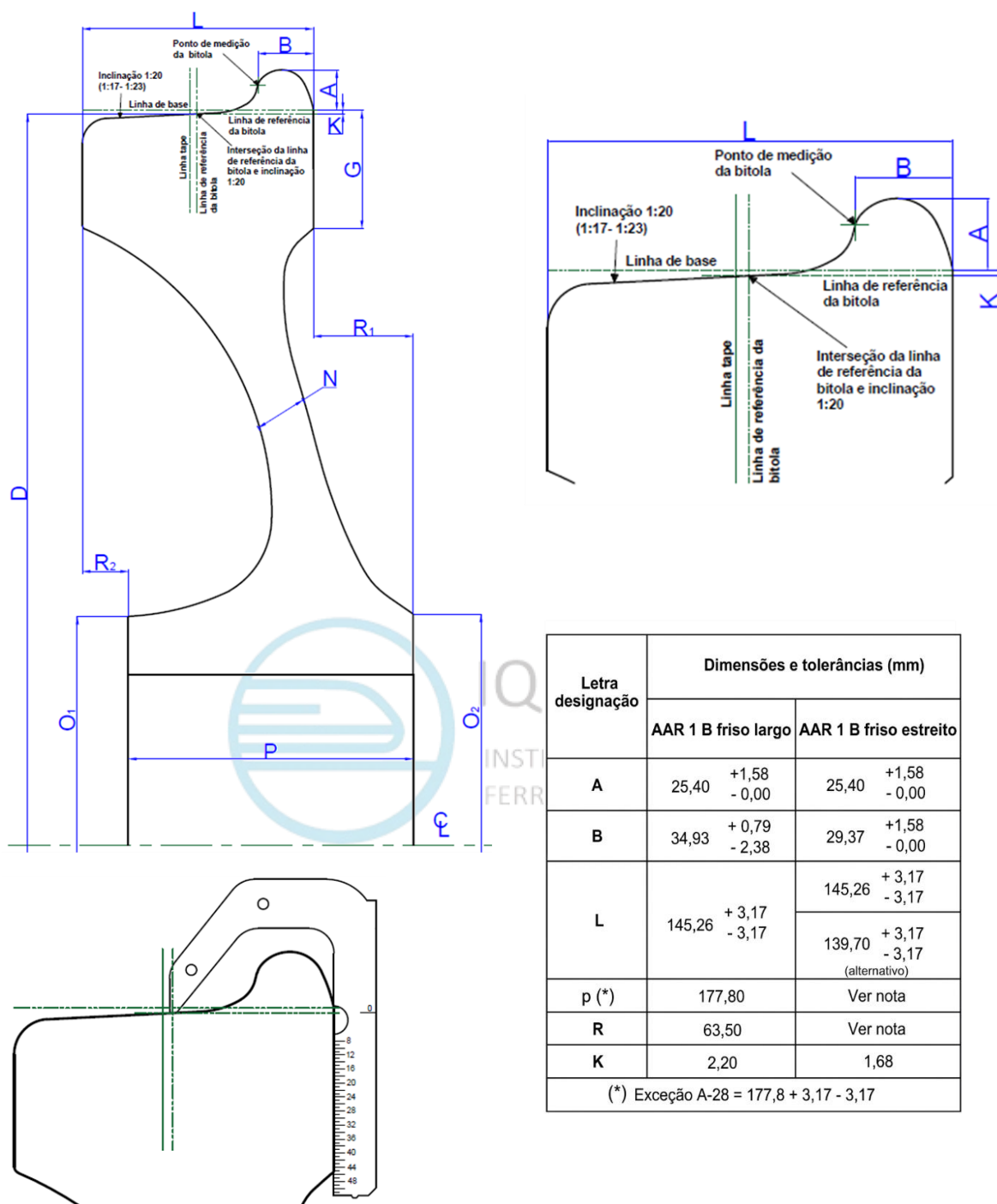


Figura 8 – Dimensões e Tolerâncias de rodas

Rodas para Vagões em Aço Carbono														
Tipo da Roda	A28 CA28	E28 CE28	D29 CD29	A30 CA30	J33 CJ33	M33 CM33	P33 CP33	H36 CH36	J36 CJ36	K36 CK36	B38 CB38	C38 CC38	D38 CD38	M38 CM38
Tipo de uso	MV	1V	MV	MV	1V	2W	MV	1V	2W	MV	1V	2W	MV	MV

Dimensões e Tolerâncias em milímetros, exceto tape														
Tipo da Roda	A28 CA28	E28 CE28	D29 CD29	A30 CA30	J33 CJ33	M33 CM33	P33 CP33	H36 CH36	J36 CJ36	K36 CK36	B38 CB38	C38 CC38	D38 CD38	M38 CM38
D (tape)	28+14	28+14	29+14	30+14	33+14	33+14	33+14	36+14	36+14	36+14	38+14	38+14	38+14	38+14
G (min)	63,5	38,1	69,85	63,5	31,75	50,8	63,5	38,1	50,8	63,5	38,1	50,8	63,5	63,5
N (min)	19,05	15,875	19,05	19,05	15,875	15,875	19,05	19,05	19,05	19,05	22,225	22,225	22,225	28
O ₁	282,575+2 5,4/-0	269,875+25 ,4/-0	254 +25,4/-0	282,575+25 ,4/-0	269,875+25 ,4/-0	269,875+25 ,4/-0	301,625+25 ,4/-0	282,575+25 ,4/-0	282,575+25 ,4/-0	282,575+2 5,4/-0	307,975+2 5,4/-0	307,975+25, 4/-0	307,975+25 ,4/-0	340+25,4/ -0
O ₂	282,575+2 5,4/-0	269,875+25 ,4/-0	254 +25,4/-0	282,575+25 ,4/-0	269,875+25 ,4/-0	269,875+25 ,4/-0	301,625+25 ,4/-0	282,575+25 ,4/-0	282,575+25 ,4/-0	282,575+2 5,4/-0	307,975+2 5,4/-0	307,975+25, 4/-0	307,975+25 ,4/-0	340+25,4/ -0
P	177,8±3,17 5	177,8±6,35	169,275±6 ,35	177,8±6,35	177,8±6,35	177,8±6,35	177,8±6,35	177,8±6,35	177,8±6,35	177,8±6,3 5	177,8±6,35	177,8±6,35	177,8±6,35	177,8±6,3 5
R	63,5±3,175	63,5±3,175	76,2 ±3,175	63,5±3,175	63,5±3,175	63,5±3,175	63,5±3,175	63,5±3,175	63,5±3,175	63,5±3,17 5	63,5±3,175	63,5±3,175	63,5±3,175	63,5±3
Máximo furo acabado	225,425	212,725	196,85	225,425	212,725	212,725	244,475	225,425	225,425	225,425	244,475	244,475	244,475	244,5
Mínimo da parede do cubo	28,575	28,575	28,575	28,575	28,575	28,575	28,575	28,575	28,575	28,575	31,75	31,75	31,75	31,75

Notas:

*Sobremetal de 1,588 a 4,763 mm acima do especificado deve ser considerado para usinagem final dessa superfície, ou da roda deve ser acabada na dimensão exata mostrada. A tolerância do comprimento do cubo tem como base dimensões acabadas.

** Referências de rebaixos e canal da vida e perfis da pista de rolamento devem ser alinhadas entre comparador e fornecedor.

*** A parede do cubo pode ser reduzida na dimensão necessária para aplicação da vedação de água do rolamento

(tapes 5%-5) - Para vagões, podem ser fornecidas rodas com variação de até 5 tapes abaixo do mínimo especificado, na quantidade máxima de 5% do lote, exceto mediante acordo prévio entre fornecedor e comprador.

Tabela 7 – Dimensões para rodas de locomotiva com friso largo.

Rodas para Locomotivas em Aço Carbono											
Tipo da Roda	F36 CF36	A38 CA38	E40 CE40	A41 CA41	A42 CA42	A43 CA43	C42 CC42	R42 CR42	E42 CE42	M42 CM42	M43 CM43
Tipo de uso	MV**	MV	MV**	MV**	MV**	MV**	MV**	MV	MV	MV	MV

Dimensões e Tolerâncias em milímetros, exceto tape											
Tipo da Roda	F36 CF36	A38 CA38	E40 CE40	A41 CA41	A42 CA42	A43 CA43	C42 CC42	R42 CR42	E42 CE42	M42 CM42	M43 CM43
D	36+14 (tapes)	38+14 (tapes)	40+14 (tapes)	41+14 (tapes)	42+14 (tapes)	43+14 (tapes)	42+14 (tapes)	42+14 (tapes)	42+14 (tapes)	42+14 (tapes)	43+ 4 (tapes)
G (min)	63,5	63,5	63,5	76,2	76,2	76,2	63,5	63,5	88,9	69,85	63,5
N (min)	19,05	22,225	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4
O₁	330,2+25,4/-0	273,05 +25,4/-0	317,5 ± 3,175	317,5 ± 3,175	292,1 + 25,4/-0	317,5 ± 3,175	342,9+25,4/-0	317,5 ± 3,175	317,5 ± 3,175	330.2 ± 3,2	317,5 ± 3,175
O₂	330,2+25,4/-0	273,05 +25,4/-0	336,55 ±3,175	336,55 ±3,175	292,1 + 25,4/-0	336,55 ±3,175	342,9+25,4/-0	336,55 ±3,175	336,55 ±3,175	336.6 ± 3.2	330.2 ± 3,2
P	165,1±3,175	177,8±3,175	165,1±3,175	165,1±3,175	177,8±3,175	165,1±3,175	165,1±3,175	165,1±3,175	165,1±3,175	156.3±1.6	146.177 ± 0.254
R₁	122,238±3,175	134,938±3,175	122,238±3,175	122,238±3,175	122,238±3,175	122,238±3,175	122,238±3,175	122,238±3,175	122,238±3,175	170.3 ± 3.2	171.018 ± 1.016
R₂	42,863*	42,863*	42,863*	42,863*	68,263	42,863*	42,863*	42,863*	42,863*	-13.97 ± 1.6	-24.84 + 0/-0.508
Máximo furo acabado	260,35	215,9	252,413	252,413	234,95	252,413	273,05	252,413	252,413	252,5	252,5
Mínimo da parede do cubo	34,925	28,575	28,575	28,575***	28,575	28,575	34,925	28,575	28,575	28,575	28,575

*Sobremetal de 1,588 a 4,763 mm acima do especificado deve ser considerado para usinagem final dessa superfície, ou da roda deve ser acabada na dimensão exata mostrada. A tolerância do comprimento do cubo tem como base dimensões acabadas.

** Referências de rebaixos e canal da vida e perfis da pista de rolamento devem ser alinhadas entre comparador e fornecedor.

*** A parede do cubo pode ser reduzida na dimensão necessária para aplicação da vedação de água do rolamento

MV = Múltipla Vida.

Tabela 8 – Dimensões para rodas de locomotiva com friso estreito.

 IQF INSTITUTO DA QUALIDADE FERROVIÁRIA	REQUISITOS DE AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE	RAC_IQF_002
		Página 25 de 34

10 PAREAMENTO (*MATING*)

As rodas deverão ser medidas e marcadas pelo número inferior do tape até a próxima graduação. As rodas deverão ser enviadas em pares com o mesmo tamanho de tape medido.

11 MEDIDORES

Os medidores e fitas métricas devem estar em conformidade e ser utilizados conforme exigido pelos padrões da Divisão de Serviços Técnicos da AAR. A medição por fitas ou metodologias alternativas deverá atender ou exceder o padrão de medição da AAR para uso de fita (*taping*) em rodas. A repetibilidade e reprodutibilidade de todos os medidores alternativos devem ser comprovadas antes de efetivamente serem utilizadas na fabricação das rodas.

12 ACABAMENTO

12.1 ACABAMENTO SUPERFICIAL:

- a) **Rodas de aço forjado:** Requerem usinagem em toda superfície da roda;
- b) **Rodas de aço fundido:** Podem conter superfícies brutas, esmerilhadas e/ou usinadas.

12.2 DEFEITOS SUPERFICIAIS

As rodas devem estar isentas de quaisquer defeitos condenáveis de serviço, de acordo com os critérios de partícula magnética e ultrassom dessa norma para defeitos condenáveis. Esmerilhamento ou usinagens localizadas para remover defeitos superficiais não devem ultrapassar 1/8" (3,2 mm) de profundidade. As propriedades seccionais devem continuar atendendo aos requisitos dimensionais após a reparação de defeitos superficiais. As superfícies reparadas devem apresentar rugosidade máxima de 500 µpol. antes do jateamento final. As superfícies reparadas devem apresentar transição uniforme em relação às superfícies originais.

13 MARCAÇÃO DA RODA

Para a certificação, a marcação das rodas deve seguir critérios rigorosos que garantem a rastreabilidade e a conformidade do produto. As marcações de identificação devem ser legíveis, conforme figuras 9 e 10. No caso de rodas de carga, a marcação é feita a quente ou a frio na face traseira do cubo; se os caracteres estiverem ilegíveis, devem ser regravados a frio. Para rodas de carros de passageiros e locomotivas, a localização da marcação pode variar, e para rodas com marcações em relevo fundidas, os caracteres devem ser legíveis, seguindo o padrão da figura 10. Em todas as rodas, a estampagem deve ser centralizada no cubo e não pode estar muito próxima das bordas.

 IQF INSTITUTO DA QUALIDADE FERROVIÁRIA	REQUISITOS DE AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE	RAC_IQF_002
		Página 26 de 34

Além da identificação principal, o tamanho do tape da roda deve ser marcado com estêncil na face traseira do disco, com caracteres de no mínimo 1 polegada de altura. Um "H" também deve ser marcado na face frontal da placa para rodas com placa curva e que receberam tratamento térmico. A tinta utilizada deve ser branca e ter durabilidade mínima de um ano. Para todas as rodas novas de vagões de carga fabricadas a partir de 2012, é obrigatório afixar uma etiqueta com código de barras, conforme o Manual de Normas e Práticas Recomendadas, Seção F, Norma S-920.

13.1 MARCAÇÃO DO CUBO DE RODAS DE AÇO CARBONO

- Localização da Marcação:** Rodas para vagões de carga são marcadas na face traseira do cubo. Já as rodas para locomotivas e carros de passageiros podem ser marcadas na face frontal ou traseira do cubo, conforme especificado pelo comprador;
- Conteúdo e Ordem:** A marcação deve seguir uma ordem específica: número de série, data de fabricação, identificação do fabricante, classe de tratamento térmico e designação do projeto. A marcação do projeto e a classe (L, A, B, C ou D) são essenciais;
- Espaçamento e Posição:** O espaçamento mínimo entre caracteres é de 1/8" e entre os grupos de informações, 1 1/8". A marcação deve ser aproximadamente centralizada na face do cubo e não pode estar a menos de 1/8" da borda interna ou externa do diâmetro do cubo em rodas mais recentes;
- Características Físicas da Marcação:** As punções usadas para os caracteres devem ter no mínimo 3/8" de altura e não podem ter bordas afiadas. Todos os caracteres devem ser estampados com um projeto de matriz de baixa tensão, com profundidade mínima de 0,015" ou uma alternativa aprovada pela AAR;
- Organização dos Grupos:** Os três grupos de informação (projeto; número de série; data de fabricação/fabricante/classe) devem ser espaçados em distâncias aproximadamente iguais ao redor da face do cubo.

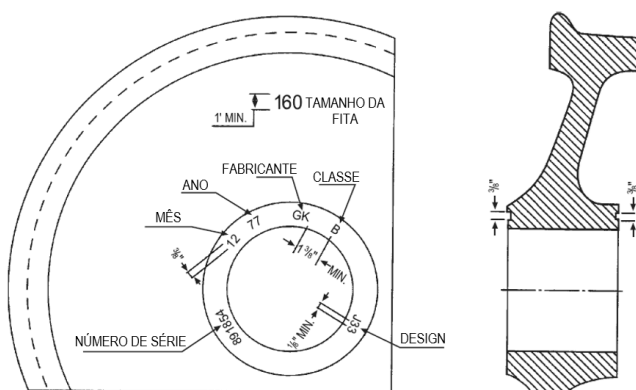


Figura 9 - Marcação do cubo de rodas de aço carbono – Traseiro e Dianteiro

 IQF INSTITUTO DA QUALIDADE FERROVIÁRIA	REQUISITOS DE AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE	RAC_IQF_002
		Página 27 de 34

13.2 MARCAÇÕES EM RELEVO EM RODAS FUNDIDAS DE AÇO CARBONO

- Conteúdo Obrigatório:** As marcações fundidas no disco traseiro das rodas devem incluir, no mínimo, o número de série, a data de fabricação, a identificação do fabricante, a classe e a designação do projeto;
- Legibilidade e Tamanho:** Os caracteres fundidos precisam ser legíveis, com no mínimo 1 polegada de altura, e devem ter espaçamento suficiente para que os grupos de informação sejam facilmente distinguíveis;
- Classe da Roda:** A classe da roda deve ser marcada usando as letras L, A, B, C ou D, conforme aplicável;
- Organização dos Dados:** Os três grupos de informação — (1) projeto, (2) número de série, e (3) data de fabricação, fabricante e classe—devem estar claramente separados na marcação fundida.

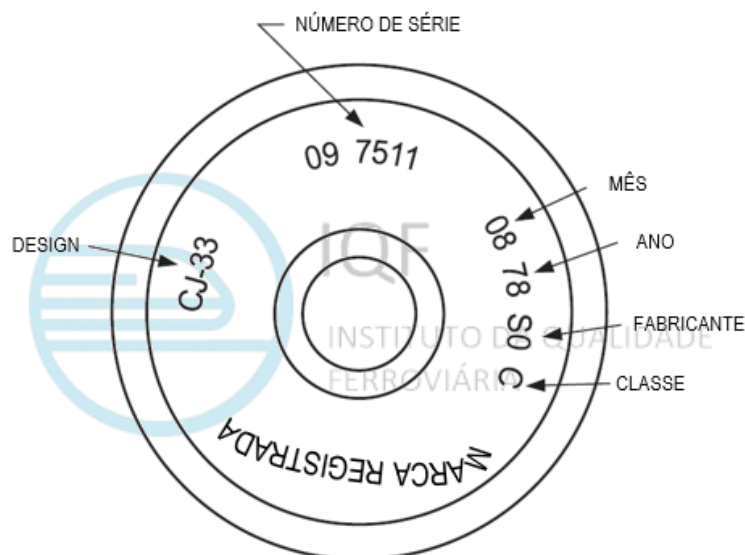


Figura 10 - Marcações em relevo em rodas fundidas de aço carbono

14 QUALIFICAÇÃO DE RODAS

O fabricante deve submeter o produto aos ensaios laboratoriais de materiais conforme descrito na seção 14.1 "Testes de Materiais".

14.1 TESTES DE MATERIAIS

Três rodas serão utilizadas como amostras, elas devem ser utilizadas para todos os testes de materiais. Os materiais das rodas devem atender às propriedades mínimas listadas nas tabelas 9 e 10.

14.1.1 Ensaio de Tração Ambiente e a Quente

A amostragem deve consistir em 5 corpos de prova, com geometria conforme norma ASTM E8, extraídos do aro da roda em orientação circular e posicionados de forma equidistante. A retirada das amostras deve ser realizada em regiões adjacentes à extração dos CPs para o ensaio de tenacidade à fratura K_{Ic} =>.

Os 5 corpos de prova deverão ser submetidos ao ensaio de tração individualmente. Para a validação dos resultados, devem-se desconsiderar os valores máximo e mínimo obtidos para cada propriedade mecânica. A conformidade do lote será verificada por meio da média aritmética dos 3 resultados remanescentes, os quais deverão atender aos requisitos das tabelas 9 e 10, de acordo com cada parâmetro de roda.

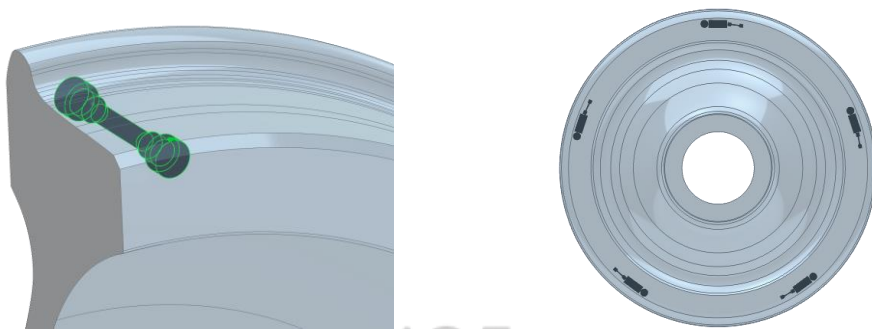


Figura 11 - Localização das amostras de tração

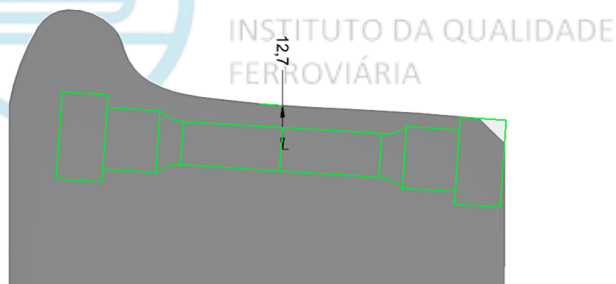


Figura 12 - Localização da amostra (Dimensional em mm)

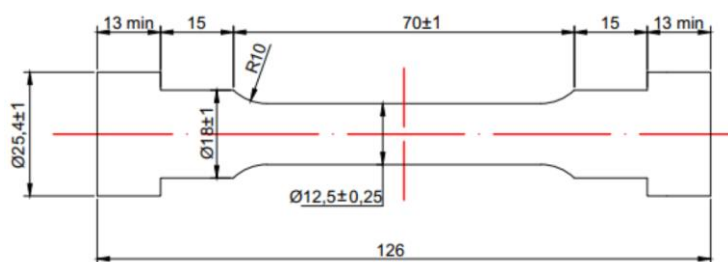


Figura 13 - Amostra de tração (Dimensional em mm)

14.1.2 Ensaio de Dureza

O mapeamento e demais parâmetros de dureza das rodas devem ser realizados conforme seção 6.4.

14.1.3 Ensaio de Tenacidade a fratura (K_{IC})

O ensaio de tenacidade a fratura deve ser realizado em 05 (cinco) amostras por roda de teste, com temperatura controlada entre 70 °F e 75 °F, conforme a norma ASTM E399 e referências da EN 13262 (foco em inversão de tensão). Os corpos de prova (CPs) devem ser extraídos do aro de forma equidistante e com orientação C-L, seguindo as dimensões e o esquema de corte detalhados na Figura 14.

Análise e Validação: O procedimento consiste no ensaio dos 05 corpos de prova, com o descarte dos resultados de maior e menor valor de tenacidade. A conformidade será validada pela média aritmética do K_{IC} dos 03 CPs remanescentes, que deverá atender ao mínimo de $49,4 \text{ MPa} \sqrt{m}$.

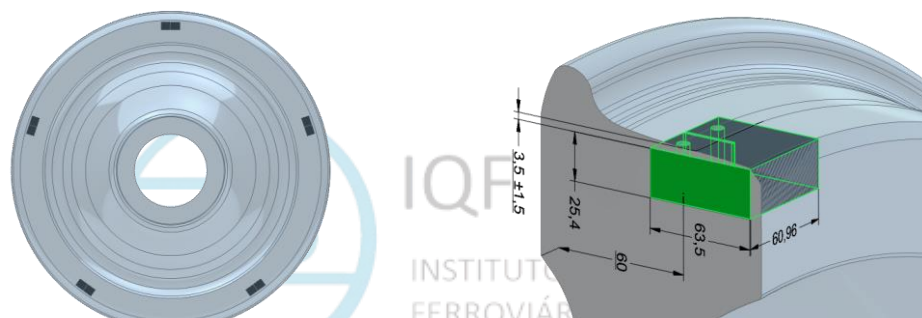


Figura 14 - Dimensional (em mm) - Amostra para ensaio de tenacidade à fratura

14.1.4 Microestrutura

A microestrutura deve ser classificada no relatório e estar livre de martensita não revenida, a microestrutura tipicamente encontrada são perlita, bainita e ferrita. Seis amostras microestruturais devem ser retiradas na direção do plano radial, adjacentes às amostras de microlimpeza, e devem incluir a pista de rolamento. O objetivo é classificar todas as microestruturas da amostra, incluindo a pista de rolamento.

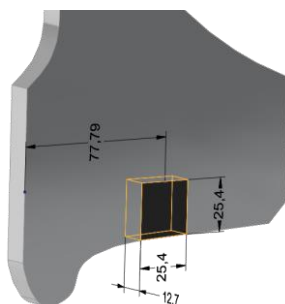


Figura 15 – Amostra para ensaio de microestrutura (Dimensional em mm)

14.1.5 Tensões Residuais

A ausência de tensões residuais de tração (*tensile hoop stress*) deve ser documentada por um corte radial com serra feito a uma profundidade de pelo menos 5 polegadas. A análise da tensão residual no material das rodas deve ser realizada quantitativamente com corte de serra do friso para o cubo da roda e com medições a cada 1 polegada até atingir 5 polegadas.

Propriedades	Temperatura			
	Ambiente °C		538 ° C	
	Roda Fundidas	Roda Forjadas	Rodas Fundidas	Roda Forjadas
Dureza	341 HB – 415 HB			
Limite de Resistência	≥ 1083 MPa		> 483 MPa	
Tensão de escoamento (0,2% offset)	≥ 760 MPa		> 345 MPa	
Alongamento (%)	≥ 7	> 14	> 20	
Redução de Área (%)	≥ 8	> 15	> 40	
Tenacidade a fratura (K _{1c})	≥ 38 MPa√m		N/A	

Tabela 9 – Propriedades mecânicas da roda classe C microligada

Propriedades	Temperatura			
	Ambiente		538 ° C	
	Roda Fundidas	Roda Forjadas	Rodas Fundidas	Roda Forjadas
Dureza	341 HB – 415 HB			
Limite de Resistência	≥ 1103 MPa		>483 MPa	
Tensão de escoamento (0,2% offset)	≥ 793 MPa		>345 MPa	
Alongamento (%)	≥ 8	> 14	≥22	>30
Redução de Área (%)	≥ 9	> 30	≥68	>75
Tenacidade a fratura (K _{1c})	≥ 49 MPa√m		N/A	

Tabela 10 – Propriedades mecânicas da roda classe D

 IQF INSTITUTO DA QUALIDADE FERROVIÁRIA	REQUISITOS DE AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE	RAC_IQF_002
		Página 31 de 34

15 DOCUMENTAÇÃO DA RODA

A documentação da roda deverá ser devidamente retida pelo fabricante, como parte do processo de fabricação da roda. Essa documentação é essencial para garantir que as rodas atendam aos requisitos técnicos e normativos estabelecidos.

A documentação deve conter, carta de aprovação da roda na AAR, desenho técnico comercial da roda, o QAP (*quality approval process*) contendo evidência de todas as etapas de processo da M-107/M-208 (S-606 - anexo X). Essa documentação é essencial para garantir que as amostras atendam aos requisitos técnicos e normativos estabelecidos, permitindo uma análise completa e precisa durante o processo de certificação.

15.1 INFORMAÇÕES PRELIMINARES

A documentação deverá incluir as seguintes informações:

- a) Número de série das rodas;
- b) Número da corrida do aço;
- c) Número do documento;
- d) Data de emissão da documentação;
- e) Data de fabricação das rodas;
- f) Tipo de roda;
- g) Classe da roda;
- h) Número do tape;
- i) Outras informações solicitadas pelo comprador (requisitos específicos).

15.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS EXIGIDOS

Os resultados dos seguintes ensaios, conforme requisitados nas normas aplicáveis, deverão ser retidos por 10 anos.

- a) Propriedades mecânicas;
- b) Composição química;
- c) *Microcleanliness* (Limpeza Microestrutural);
- d) Dimensional da roda;
- e) Dureza Brinell;
- f) Ensaio de Ultrassom;
- g) *Shot peening*;
- h) Ensaio de partícula magnética;
- j) Projeto (Carta de Aprovação da AAR);

 IQF INSTITUTO DA QUALIDADE FERROVIÁRIA	REQUISITOS DE AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE	RAC_IQF_002
		Página 32 de 34

k) Outros ensaios solicitados pelo comprador (requisitos específicos).

Os registros dos ensaios deverão conter informações detalhadas, incluindo a corrida, número de série, data de realização e outros dados conforme estabelecido neste documento e nas normas de referência, a fim de garantir a rastreabilidade e a conformidade dos processos.

16 REGISTROS

Os registros dos resultados individuais de todos os ensaios realizados nas rodas devem ser elaborados de forma que seja possível sua impressão, contendo, de maneira individual, a corrida, o número de série e a data de inspeção. Esses registros devem ser mantidos por um período mínimo de dez anos a partir da data de fabricação e estarem disponíveis para consulta sempre que solicitados.

17 PROCEDIMENTOS

A organização deverá reter informações documentadas e disponibilizá-las para uso, incluindo os procedimentos necessários para a fabricação da roda, assim como os relativos a ensaios, inspeção, armazenamento e expedição.

18 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

A realização de ensaios não destrutivos em rodas é mandatória, seguindo rigorosamente as diretrizes estabelecidas.

18.1 INSPEÇÃO POR ULTRASSOM

A execução do ultrassom em rodas deve estar em conformidade com a seção 18.4 da norma AAR M-107/M-207. Os fabricantes qualificados devem manter métodos de ensaio e procedimentos documentados, aderentes às especificações da AAR ou a equivalentes.

18.2 INSPEÇÃO POR PARTÍCULA MAGNÉTICA

Complementarmente, a inspeção por partículas magnéticas deve estar em conformidade com a seção 18.5 da norma AAR M-107/M-207. Este ensaio foca na identificação de descontinuidades superficiais nos discos dianteiro e traseiro da roda, porém ele é aplicado em toda superfície da roda, especialmente em rodas novas, que poderiam comprometer seu desempenho em serviço. O método emprega partículas magnéticas fluorescentes em suspensão úmida e é aplicável a todas as rodas fornecidas sob a especificação vigente.

 IQF INSTITUTO DA QUALIDADE FERROVIÁRIA	REQUISITOS DE AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE	RAC_IQF_002
		Página 33 de 34

19 CALIBRAÇÃO

A organização deve determinar e prover os recursos necessários para garantir resultados válidos e confiáveis sempre que o monitoramento ou a medição forem utilizados para verificar a conformidade de produtos e serviços com os requisitos. A organização deve assegurar que os recursos fornecidos:

- Sejam adequados para as atividades específicas de monitoramento e medição realizadas;
- Sejam mantidos de forma a garantir que permaneçam continuamente apropriados para seus objetivos.

A organização deverá manter registros da calibração dos equipamentos utilizados nos ensaios requeridos. Esses equipamentos deverão ser calibrados, no mínimo, uma vez por ano e sempre que receberem manutenção que possa afetar o sistema de desempenho. Os registros deverão ser mantidos por um período mínimo de cinco anos.

Além disso, a organização deverá reter registros da validação anual do padrão de referência para ensaio de ultrassom, contendo o nome do inspetor, a data de revalidação e o acabamento da superfície medida do bloco de referência. Esses registros devem ser mantidos por um período mínimo de dez anos.

20 COMPETÊNCIA

A organização deve:

- Determinar a competência necessária das pessoas que realizam trabalhos sob seu controle, os quais possam afetar o desempenho e a eficácia do sistema de gestão da qualidade;
- Assegurar que essas pessoas possuam a competência necessária, com base em educação, treinamento ou experiência apropriados;
- Quando aplicável, tomar ações para adquirir a competência necessária e avaliar a eficácia das ações implementadas;
- Reter informações documentadas adequadas como evidência da competência.

NOTA: As ações aplicáveis podem incluir a oferta de treinamento, mentoria, readequação de funções dos colaboradores atuais ou, se necessário, a contratação de profissionais qualificados.

Com base nos critérios da ASNT SNT-TC-1A, a qualificação do pessoal para inspeção por ultrassom é dividida em três níveis: todos os operadores devem possuir qualificação de Nível I; os técnicos responsáveis pela configuração das inspeções e preparação dos equipamentos necessitam de treinamento de Nível II; e cada fabricante deve contar com um profissional qualificado no Nível III, que atua como o responsável técnico superior.

21 IDENTIFICAÇÃO DA MARCA DE CONFORMIDADE (CERTIFICAÇÃO)

A identificação da marca de conformidade para rodas certificadas, conforme esta norma de referência é representada abaixo:

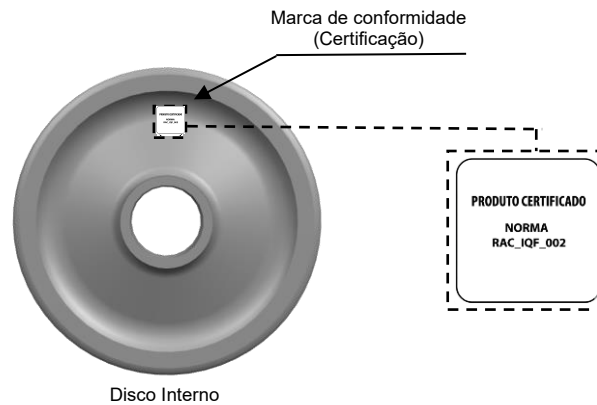


Figura 16 – Aplicação da marca de conformidade

As rodas devidamente aprovadas devem ser marcadas com a identificação do selo, em dimensões de 2,6 cm × 2,6 cm, aplicada no disco da roda (lado interno), conforme figura 16.



HISTÓRICO DAS MODIFICAÇÕES		
REV.	DATA	DESCRIÇÃO DA MODIFICAÇÃO
00	08/04/2026	Emissão Inicial
01	12/06/2026	Revisão geral para padronização dos termos ferroviários, inclusão do número da revisão na capa e alteração da codificação do documento de RAC_IQF_0012026 para RAC_IQF_002