



Análise microestrutural comparativa dos aços AISI 8630M e ASTM A182 F-22

Marcelo de Oliveira Targino¹; Edvan Cordeiro de Miranda²; George Luiz Gomes de Oliveira³; Pedro Helton Magalhães Pinheiro⁴

Como Citar:

TARGINO, Marcelo de Oliveira; DE MIRANDA, Edvan Cordeiro; DE OLIVEIRA, George Luiz Gomes; PINHEIRO, Pedro Helton Magalhães. Análise microestrutural comparativa dos aços AISI 8630M e ASTM A182 F-22. Revista Sociedade Científica, vol. 9, n. 1, p. 449-469, 2026. <https://doi.org/10.61411/rsc2026125519>

DOI: 10.61411/rsc2026125519

Área do conhecimento:

Engenharias

Sub-área:

Engenharia de Materiais e Metalúrgica

Palavras-chave:

AISI 8630M; ASTM A182 F-22; Tratamentos Térmicos; Microestrutura; Elementos de Liga.

Publicado: 16 de março de 2026.

Resumo

As ligas AISI 8630M e ASTM A182 F-22 são amplamente empregadas no setor de petróleo e gás; entretanto, estudos comparativos sob rotas térmicas idênticas ainda são limitados. Este trabalho teve como objetivo analisar comparativamente as variações microestruturais desses aços após recozimento, têmpera e revenimento. As amostras foram inicialmente normalizadas para padronização microestrutural, submetidas aos tratamentos térmicos propostos e analisadas qualitativamente por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), após ataque com Nital 2%. Os resultados evidenciaram microestrutura ferrita-perlita no estado recozido, formação predominante de martensita após têmpera e martensita revenida após revenimento. O AISI 8630M apresentou maior uniformidade martensítica, associada à sua maior temperabilidade, enquanto o ASTM A182 F-22 demonstrou maior estabilidade microestrutural após revenimento. Conclui-se que as diferenças observadas estão diretamente relacionadas à composição química e à atuação dos elementos de liga. Ressalta-se que as interpretações quanto ao desempenho mecânico baseiam-se na análise microestrutural qualitativa, não tendo sido realizados ensaios mecânicos.

Comparative Microstructural Analysis of AISI 8630M and ASTM A182 F-22 Steels

Abstract

¹Universidade Federal do Ceará (UFC), Russas-CE, Brasil. Email: ✉

²Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza-CE, Brasil. Email: ✉

³Universidade Federal do Ceará (UFC), Russas-CE, Brasil. Email: ✉

⁴Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza-CE, Brasil. Email: ✉



AISI 8630M and ASTM A182 F-22 alloys are widely used in the oil and gas sector; however, comparative studies using identical heat treatment routes are still limited. This work aimed to comparatively analyze the microstructural variations of these steels after annealing, heat treatment, and tempering. The samples were initially normalized for microstructural standardization, subjected to the proposed heat treatments, and qualitatively verified by Scanning Electron Microscopy (SEM) after etching with 2% Nital. The results showed a ferrite-pearlite microstructure in the recommended state, predominantly martensite formation after quenching, and tempered martensite after tempering. AISI 8630M showed greater martensitic uniformity, associated with its higher hardenability, while ASTM A182 F-22 demonstrated greater microstructural stability after tempering. It is concluded that the observed differences are directly related to the chemical composition and the action of the alloying elements. It should be noted that the interpretations regarding mechanical performance are based on qualitative microstructural analysis, and no mechanical tests have been performed.

Keywords: AISI 8630M; ASTM A182 F-22; Heat Treatments; Microstructure; Alloying Elements.

1. Introdução

As ligas de aço desempenham papel fundamental em aplicações industriais que demandam elevada resistência mecânica, adequada tenacidade e, em determinadas situações, elevada resistência à corrosão e ao desgaste. Tais propriedades não decorrem exclusivamente das condições de processamento, mas resultam da interação complexa entre a composição química, os tratamentos térmicos aplicados e as transformações microestruturais decorrentes desses processos, o que confere aos aços elevada versatilidade no contexto da engenharia moderna. Nesse cenário, destacam-se os aços de baixa e média liga, como o AISI 8630M e o ASTM A182 F-22 [1,4,5].



O desempenho dessas ligas está intrinsecamente relacionado às suas microestruturas, que podem ser modificadas por meio de tratamentos térmicos controlados, permitindo a adequação do material tanto a esforços cíclicos quanto a condições estáticas severas. Entre os principais tratamentos empregados, destacam-se a têmpera, responsável pela formação de martensita e pelo aumento significativo da dureza; o revenimento, que promove a difusão controlada e a precipitação de carbonetos, reduzindo tensões internas e elevando a tenacidade; e o recozimento, que visa o equilíbrio microestrutural para melhorar a ductilidade. Nesse contexto, a compreensão dos mecanismos de transformação de fase, da morfologia dos constituintes e da distribuição de fases formadas é determinante para o controle das propriedades finais do material [1,5].

Entretanto, embora existam numerosos estudos abordando individualmente os efeitos da composição química ou das rotas de tratamento térmico sobre a microestrutura dos aços de baixa e média liga, a literatura ainda carece de investigações comparativas que analisem, de forma direta, a evolução microestrutural desses materiais quando submetidos a rotas térmicas idênticas.

Compreender essa relação é fundamental para aprimorar a previsibilidade do desempenho mecânico em serviço, especialmente em aplicações críticas, nas quais pequenas variações na morfologia e na distribuição das fases podem comprometer a integridade estrutural e culminar em falhas catastróficas. Além disso, o aprofundamento desse conhecimento contribui para o desenvolvimento de bases técnicas mais sólidas para a seleção de rotas térmicas adequadas. Nesse sentido, este estudo também se justifica por seu potencial de servir como ponto de partida para investigações futuras mais aprofundadas envolvendo esses materiais e suas respostas microestruturais a diferentes condições de tratamento térmico.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo geral analisar e comparar as variações microestruturais resultantes nos aços AISI 8630M e ASTM A182 F-22,



submetidos a diferentes tratamentos térmicos de recozimento, têmpera e revenimento sob rotas térmicas equivalentes. Como objetivos específicos, pretende-se caracterizar comparativamente as microestruturas obtidas em cada condição de tratamento térmico, identificar e analisar as fases formadas e suas morfologias, avaliar as diferenças na evolução microestrutural entre os dois materiais e correlacionar, de maneira sistemática, as rotas térmicas aplicadas com as transformações microestruturais observadas. Com isso, busca-se fornecer uma base inicial consistente que possa subsidiar e estimular o desenvolvimento de estudos posteriores mais aprofundados acerca do comportamento microestrutural desses aços frente a distintas estratégias de tratamento térmico.

2. Referencial teórico

2.1. Aços-liga

Os aços-liga são materiais metálicos compostos principalmente de ferro e carbono em sua composição básica e possuem também elementos adicionais em quantidades controladas para modificar e melhorar suas propriedades mecânicas, químicas e físicas. Geralmente, são aços de baixo ou médio teor de carbono acrescidos de elementos como níquel, cromo, molibdênio, manganês, vanádio, silício, entre outros, cada um contribuindo de forma específica para características como resistência mecânica, dureza, tenacidade, resistência ao desgaste ou à corrosão [1,4,5].

A presença desses elementos juntamente com a execução de possíveis tratamentos térmicos alteram significativamente a microestrutura do aço, influenciando o tamanho de grão, a formação de compostos endurecedores e a estabilidade das fases metálicas em diferentes temperaturas. Isso permite que os aços-liga apresentem um desempenho superior em aplicações que exigem alta resistência mecânica, estabilidade térmica ou resistência química o que os tornam um material bastante utilizado [1,4,5].

2.1.1. Aço AISI 8630M



O aço AISI 8630 é classificado como um aço de baixa liga, com médio teor de carbono, e que apresenta composição química base definida de carbono, manganês, níquel e molibdênio, além de também pequenas quantidades de fósforo e enxofre. Essa combinação de elementos entrega ao material boas propriedades mecânicas, tenacidade e temperabilidade, tornando-o adequado para componentes que exigem resistência moderada e boa resposta a tratamentos térmicos. Entre suas aplicações típicas estão engrenagens, eixos, componentes de transmissão e peças estruturais utilizadas na indústria automotiva e de máquinas em geral [4,5].

Dentro dessa mesma classe, destaca-se a versão modificada, denominada AISI 8630M. Essa variante é uma versão aprimorada para atender requisitos mais rigorosos de desempenho, mantendo a base de composição do AISI 8630, mas com ajustes nas proporções dos elementos de liga. O objetivo dessas modificações é potencializar propriedades como resistência mecânica, tenacidade em baixas temperaturas e soldabilidade, ampliando o campo de aplicações em condições severas de serviço. O AISI 8630M é amplamente empregado em setores críticos, como na fabricação de equipamentos para exploração de petróleo e gás, na indústria aeronáutica e em aplicações que demandam alta confiabilidade estrutural sob esforços dinâmicos [4,5].

Tabela 1: Composição química do aço AISI 8630M (% em massa)

C	Si	Mn	P	Cu	Cr	Ni	Mo	Al
0,36	0,30	0,86	0,006	0,06	0,93	0,81	0,38	0,02

Fonte: Elaborado pelo autor (2025), com base em Moura Filho [4] e Oliveira [5].

2.1.2. Aço ASTM A182 F-22

O ASTM A182 F-22 também é um aço de baixa liga e que apresenta uma composição química definida por carbono, silício, manganês, fósforo, cobre, cromo, níquel, molibdênio e alumínio. Esse conjunto de elementos confere ao aço excelentes propriedades como resistência à corrosão, resistência a altas temperaturas, boa



tenacidade e resistência mecânica o que o torna uma ótima escolha nas aplicações de equipamentos para plataformas de petróleo, petroquímica, refinarias, flanges e válvulas aproveitando a considerável capacidade de operar em ambientes hostis de alta pressão e temperatura [4,5].

Tabela 2: Composição química do aço ASTM A182 F-22 (% em massa)

C	Si	Mn	P	Cu	Cr	Ni	Mo	Al
0,12	0,17	0,40	0,012	0,04	2,25	0,06	0,93	0,024

Fonte: Elaborado pelo autor (2025), com base em Moura Filho [4] e Oliveira [5].

2.2. Tratamentos térmicos

As ligas de aço são indispensáveis na engenharia devido às suas características essenciais, que possibilitam sua aplicação em diversos segmentos da indústria. Grande parte dessas propriedades é adquirida por meio da aplicação de tratamentos térmicos. O tratamento térmico consiste em um processo extremamente controlado do aquecimento do material em um forno e posteriormente um resfriamento, que pode ser realizado no próprio forno, ao ar livre, ou ainda em meios como água ou óleo. Esse procedimento tem como objetivo modificar ou potencializar as propriedades mecânicas e até mesmo estruturais dos metais, conferindo uma ampla gama de características que os tornam adequados para diferentes aplicações. Entre os principais tipos de tratamentos térmicos, destacam-se a têmpera, o recozimento, o revenimento e a normalização [1,2,7].

2.2.1. Têmpera

O tratamento térmico de têmpera tem como finalidade a formação de martensita na microestrutura do aço, resultando em elevada dureza e grande resistência ao desgaste. Esse processo envolve o aquecimento do material até uma temperatura superior à sua zona crítica, com manutenção nesse patamar para garantir a homogeneização completa, seguido por um resfriamento rápido e severo, realizado em meios como água ou óleo apropriado [1,2,7].



Microestruturalmente, a transformação martensítica ocorre de forma quase instantânea, sem que o carbono tenha tempo para se difundir para fora da rede. Isso resulta no aprisionamento do carbono dentro da estrutura cristalina, causando grande distorção e formando a característica morfologia acicular (em agulha) da martensita. Esta microestrutura confere a máxima dureza, embora o material permaneça frágil e com altas tensões internas [1,2].

2.2.2. Recozimento

O recozimento busca reduzir a dureza do aço, aliviar tensões internas, aumentar a ductilidade e favorecer a usinabilidade. Para isso, o metal é aquecido a uma faixa de temperatura acima do ponto crítico e mantido nessa condição o tempo suficiente para uniformizar a estrutura. Em seguida, o resfriamento ocorre de forma gradual e controlada, geralmente dentro do próprio forno, o que assegura uma transformação lenta, estável e que implica no crescimento do grão [1,2].

O resfriamento lento permite que as transformações de fase ocorram por completa difusão resultando na microestrutura composta de ferrita e perlita. A taxa lenta de resfriamento gera tipicamente a perlita grossa, onde as camadas de cementita são largas e bem separadas, uma condição que maximiza a ductilidade do material [1,2,7].

2.2.3. Revenimento

O revenimento tem por objetivo minimizar a fragilidade da martensita formada na têmpera, ajustando a dureza e proporcionando maior tenacidade e resistência ao impacto. O procedimento é realizado por meio do reaquecimento do aço previamente temperado até uma temperatura inferior à zona crítica, onde permanece o tempo necessário para estabilizar a microestrutura. O resfriamento subsequente é normalmente conduzido ao ar calmo [1,2].

Esta etapa é crucial, pois alivia as tensões internas e transforma a martensita frágil na microestrutura de martensita revenida. A martensita revenida se estabelece



como uma matriz de ferrita de baixo carbono contendo uma precipitação fina e homogênea de carbonetos. É esta dispersão controlada que confere o balanço ideal de alta resistência (pelo mecanismo de endurecimento por precipitação) e tenacidade [1,2,7].

2.2.4. Normalização

A normalização visa refinar o tamanho de grão, uniformizar a microestrutura e melhorar o equilíbrio das propriedades mecânicas do aço. Esse tratamento, comumente aplicado antes da têmpera e do revenimento, consiste em aquecer o material a uma temperatura superior à zona crítica, mantendo-o nessa condição até atingir a completa homogeneização. O resfriamento é conduzido ao ar parado, promovendo uma transformação uniforme e estável [1,2,7].

2.3. Influência dos elementos de liga e propriedades

Os aços de médio carbono e baixa liga utilizam elementos de adição para aumentar a temperabilidade, o que facilita a obtenção de uma microestrutura martensítica em toda a seção da peça, mesmo sob taxas de resfriamento menos severas [6]. A resposta metalúrgica destas ligas depende diretamente da interação desses elementos com a matriz e o carbono.

Elementos como o cromo e o molibdênio possuem elevada afinidade com o carbono, formando carbonetos estáveis que aumentam a dureza e a resistência ao desgaste. No caso do aço ASTM A182 F22, essa estabilidade permite a sua aplicação em altas temperaturas, enquanto o molibdênio especificamente impede o amolecimento excessivo durante o revenimento [5,4,6].

Por outro lado, o níquel atua em solução sólida, sendo o principal responsável pelo refinamento do grão e pelo aumento da tenacidade ao impacto. No aço AISI 8630M, a combinação de níquel, cromo e molibdênio garante uma temperabilidade



superior à do aço comum, evitando a formação de fases moles no centro de componentes de grandes dimensões [5,4,6].

3. Metodologia

3.1. ASTM A182 F-22 e AISI 8630M

Para esse estudo, foram selecionados dois aços de baixa liga que possuem um elevado índice de aplicação em setores industriais de alta exigência mecânica e térmica: o aço ASTM A182 F-22 e o aço AISI 8630M modificado. O aço ASTM A182 F-22 é caracterizado pela presença de cromo e molibdênio, conferindo-lhe elevada resistência ao desgaste, fluência e estabilidade em ambientes de alta temperatura. Por sua vez, o aço AISI 8630M, variante modificada do AISI 8630, apresenta composição química otimizada para garantir elevada tenacidade, resistência à fadiga e ductilidade [4,5].

As amostras de aço AISI 8630M foram preparadas a partir de um tarugo maciço, que foi inicialmente seccionado em três blocos utilizando uma serra fita de bancada, a fim de minimizar aquecimento localizado e preservar a integridade microestrutural. Posteriormente, cada bloco foi cuidadosamente cortado ao meio em uma fresadora CNC, garantindo dimensões precisas e superfícies adequadas para o tratamento térmico, resultando em amostras com dimensões finais de 40 x 40 x 15 mm. Em contrapartida, as amostras do aço ASTM A182 F-22 foram obtidas diretamente na fresadora, eliminando etapas intermediárias e assegurando acabamento superficial homogêneo, com as mesmas medidas citadas anteriormente. Ao todo, seis amostras foram preparadas, três de cada aço, permitindo a aplicação replicada dos três tratamentos térmicos propostos.

3.2. Tratamentos térmicos



A metodologia experimental contemplou três diferentes caminhos de tratamento térmico para avaliação comparativa das transformações microestruturais. Previamente à execução das rotas experimentais, todas as amostras foram submetidas a um ciclo de normalização. Esta etapa foi adotada como um tratamento de condicionamento inicial, visando a homogeneização microestrutural e a eliminação do histórico térmico e mecânico residual do material, estabelecendo assim um "estado zero" uniforme para todas as amostras. Os tratamentos aplicados foram: (1) normalização seguida de têmpera; (2) normalização seguida de têmpera e revenimento; e (3) normalização seguida de recozimento. Para cada aço, os parâmetros térmicos foram selecionados com base em recomendações bibliográficas e especificações técnicas, visando a obtenção de estruturas representativas e consistentes

Os tratamentos térmicos foram conduzidos em forno mufla digital microprocessado modelo SP-1200DRP7 – SPLABOR. A taxa de aquecimento foi programada em aproximadamente 10 °C/min e todas as amostras permaneceram na temperatura requerida durante 30 minutos para completa transformação. Observou-se que o equipamento apresentava elevação de temperatura mais rápida até cerca de 500–600 °C, reduzindo progressivamente a taxa efetiva de aquecimento à medida que se aproximava das temperaturas finais de tratamento.

No aço ASTM A182 F-22, a normalização foi realizada a 950 °C, seguida de resfriamento ao ar parado para promover o refinamento do grão. A têmpera também foi executada a 950 °C, seguida de resfriamento rápido em água com temperatura ambiente para obtenção de martensita. O revenimento foi conduzido a 675 °C, seguido de resfriamento ao ar, visando o alívio de tensões internas e a precipitação controlada de carbonetos. O recozimento ocorreu a 900 °C, com resfriamento lento dentro do forno, favorecendo a homogeneização e o aumento da ductilidade [1,3].

No aço AISI 8630M, a normalização ocorreu a 900 °C, com resfriamento ao ar parado. A têmpera foi também realizada a 900 °C, seguida de resfriamento com água



em temperatura ambiente para rápida transformação da austenita em martensita. O revenimento foi efetuado a 620 °C, com resfriamento ao ar, enquanto o recozimento foi conduzido a 830 °C, seguido de resfriamento lento no forno [4,1,3,8].

Tabela 3: Temperaturas e condições de resfriamento dos tratamentos térmicos dos aços ASTM A182 F-22 e AISI 8630M

Material	Normalização (°C)	Têmpera (°C)	Revenimento (°C)	Recozimento (°C)	Meio de resfriamento (por etapa)
ASTM A182 F-22	950	950	675	900	Ar → Água → Ar → forno
AISI 8630M	900	900	620	830	Ar → Água → Ar → forno

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.3. Preparo metalográfico

3.3.1. Lixamento

Após os tratamentos térmicos, as amostras foram submetidas ao preparo metalográfico, primeira etapa e fundamental para a análise microscópica de alta resolução. As amostras, foram preparadas por meio de lixamento manual utilizando lixas d'água com granulometrias sucessivas de 80, 220, 320, 400, 600 e 1200. Durante o processo, as lixas foram previamente cortadas em formato circular para permitir o encaixe na base de uma lixadeira rotativa, possibilitando um controle mais preciso do desgaste da superfície.

A velocidade de rotação da base foi ajustada conforme o andamento do lixamento, assim como a vazão de água que era direcionada continuamente sobre a lixa durante a operação. A superfície foi continuamente umedecida para facilitar a remoção de material e reduzir o aquecimento evitando qualquer alteração térmica que pudesse modificar as propriedades metalúrgicas dos materiais.



O lixamento foi conduzido de forma gradual, iniciando com o grão de 80 para remover irregularidades maiores e, posteriormente, avançando para granulações mais finas, garantindo que os riscos mais profundos fossem progressivamente eliminados. Durante a operação, as amostras foram mantidas firmemente apoiadas contra a lixa rotativa, garantindo a estabilidade do contato abrasivo e a regularidade da superfície preparada. A cada troca de granulometria, a direção dos movimentos foi alterada em aproximadamente 90°, permitindo a verificação visual da remoção completa das marcas do passo anterior e contribuindo para a manutenção da regularidade da superfície.

Entre cada etapa, as amostras foram lavadas com água corrente, umedecidas com uma quantidade expressiva de álcool e secadas com o auxílio de um secador de cabelo garantindo uma secagem rápida da superfície de modo a remover a umidade e reduzir os riscos da oxidação das amostras. Ao término do lixamento com a lixa 1200, as superfícies apresentaram acabamento uniforme e adequado para as etapas subsequentes de preparação e análise previstas neste estudo.

3.3.2. Polimento

Após o lixamento, parte das amostras foi submetida ao polimento para refinamento da superfície e remoção final dos riscos remanescentes. O polimento foi realizado na mesma lixadeira rotativa utilizada no lixamento, porém substituindo a lixa por um pano de polimento semelhante ao pano utilizado em mesas de sinuca, com textura tipo veludo, devidamente fixado sobre a base giratória. Foram aplicadas pastas diamantadas com granulometrias de 3 μm , 1 μm e 0,25 μm de forma sequencial, garantindo a redução progressiva das imperfeições superficiais. Durante o polimento, uma solução de detergente neutro diluído em água destilada foi aplicada periodicamente sobre a superfície para facilitar a lubrificação e remover partículas soltas. As amostras foram mantidas firmes sobre o pano durante toda a etapa, de modo a assegurar um acabamento adequado e uniforme. E assim como no lixamento, as peças eram levadas



em água corrente, umedecidas com álcool etílico e secas com o auxílio de um secador ao fim de cada etapa.

3.3.3. Ataque químico

Para a realização dos ataques químicos, foi produzido no próprio laboratório de química da Universidade Federal do Ceará, campus de Russas, um reagente obtido a partir da mistura de ácido nítrico (concentração de 2%) e álcool etílico, resultando no nital 2%. As amostras tiveram suas superfícies polidas submersas por cerca de 10 segundos na solução acondicionada em uma placa de Petri e, após a retirada, foram imediatamente lavadas em água corrente, umedecidas com uma quantidade expressiva de álcool etílico e secas com auxílio de um secador de cabelo, seguindo o mesmo procedimento adotado após cada etapa de lixamento e polimento. Após o ataque, as amostras foram encaminhadas ao laboratório para análise no microscópio eletrônico de varredura (MEV).

3.4. Análise - MEV

As mesmas amostras atacadas foram examinadas individualmente em um microscópio eletrônico de varredura modelo Tescan Vega II XMU, também com suporte técnico durante a operação. Foi utilizado o aumento de 2.00kx para aprofundar a análise dos grãos, dos contornos e das transformações de fase decorrentes dos tratamentos térmicos aplicados, tensão de aceleração de 20.00kV, campo de visão de 75,40µm e barra de escala de 20µm. Dessa forma, as imagens obtidas no MEV foram selecionadas privilegiando-se aquelas com maior clareza e detalhamento, permitindo uma comparação mais precisa entre os resultados.

4. Desenvolvimento e discussão

4.1. Caracterização microestrutural



A caracterização via Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), com aumento de 2.00kx, permitiu a identificação das fases resultantes dos tratamentos térmicos. As observações confirmam as transformações de fase previstas para aços de baixa liga, estando em conformidade com as descrições morfológicas clássicas e os mecanismos de transformação descritos na literatura.

Conforme discutido por Callister e Rethwisch [1] e Colpaert 2, o comportamento da microestrutura dos aços de baixa liga está diretamente ligado tanto pelo teor de carbono quanto pelos elementos de liga, que modificam a cinética das transformações. Estudos recentes também apontam a influência de molibdênio e cromo no favorecimento da martensita em aços de baixa liga [9].

4.1.1. Estado recozido

A imagem dos aços no estado recozido (Figura 1) revelou uma microestrutura de equilíbrio composta por ferrita e perlita. A ferrita se manifestou por meio de áreas de morfologia lisa e contornos definidos, enquanto a perlita foi identificada pelas colônias com textura rugosa característica. Como o resfriamento no recozimento é lento, ocorreu a difusão completa do carbono, resultando na formação desse constituinte lamelar. [1,2].

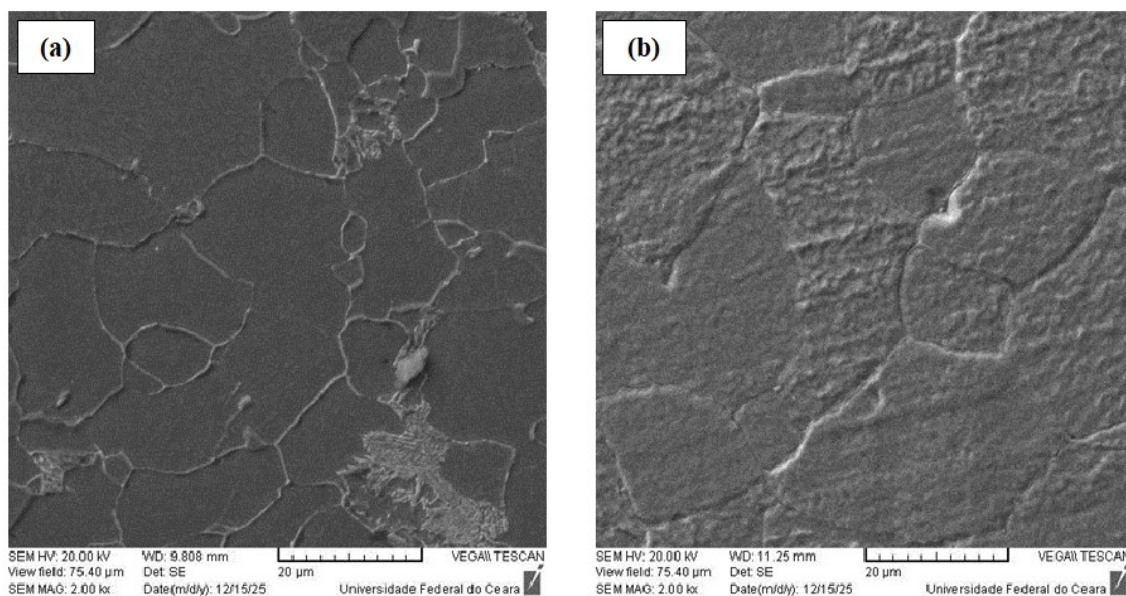


Figura 1: Microestruturas no estado recozido: (a) AISI 8630M; (b) ASTM A182 F-22. Aumento de 2000x

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Na comparação entre as ligas, o AISI 8630M apresentou uma matriz com aspecto mais denso. Esse comportamento está associado ao efeito sinérgico do níquel e do cromo, que aumentam a estabilidade da austenita, retardam as transformações difusionais e ampliam a temperabilidade, além de favorecerem a formação de carbonetos [5,6], resultando em distribuição mais homogênea das fases no 8630M. Por outro lado, o ASTM A182 F-22 exibiu fases mais distintas, coerentes com sua menor temperabilidade, o que explica sua maior ductilidade nessa condição.

4.1.2. Estado temperado

O resfriamento brusco a partir da fase austenítica impediu a difusão do carbono, resultando na formação de martensita (Figura 2), que conforme descrito por Moura Filho [4], é uma microestrutura de menor tenacidade e maior fragilidade. Esse comportamento é favorecido pela presença de elementos de liga como níquel, cromo e molibdênio, que deslocam as curvas de formação de perlita e bainita no diagrama CCT

para tempos mais longos, ampliando a temperabilidade e promovendo a obtenção da fase martensítica, fenômeno também visto por XIA *et al.* [9].

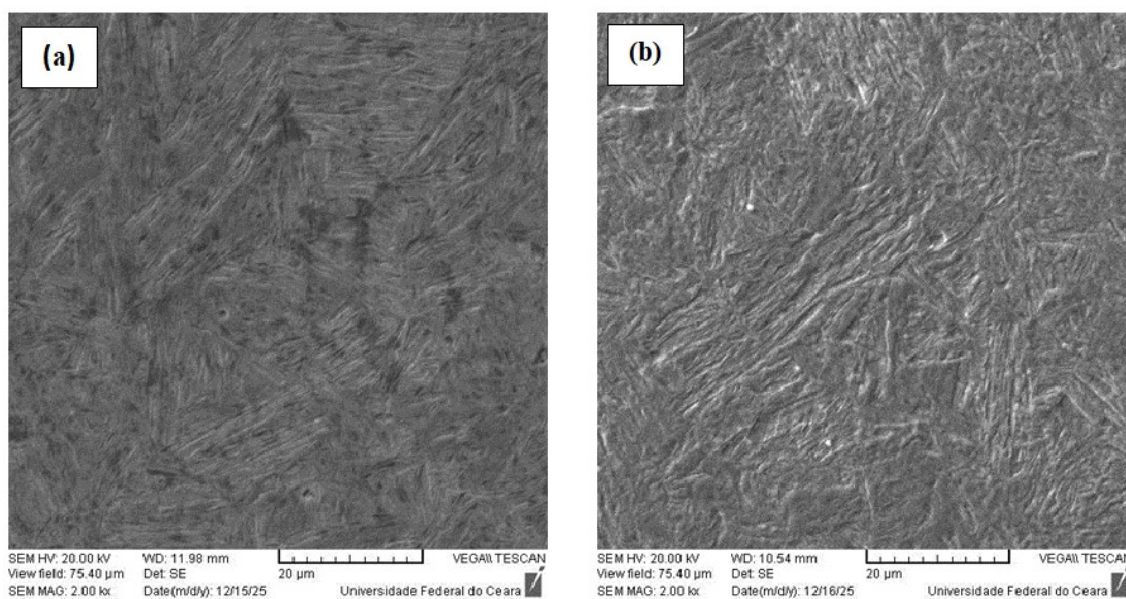


Figura 2: Microestruturas no estado de têmpera: (a) AISI 8630M; (b) ASTM A182 F-22. Aumento de 2000x

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Neste estágio, o AISI 8630M demonstrou uma estrutura martensítica mais uniforme e definida, evidenciando sua elevada temperabilidade. Esse comportamento está diretamente relacionado à combinação Ni-Cr-Mo e ao maior teor de carbono, que ampliam a profundidade de endurecimento e deslocam as transformações difusionais para tempos mais longos, favorecendo a formação da fase martensítica mesmo sob taxas de resfriamento menos severas [6,5]. Assim, a microestrutura observada confirma a influência determinante da composição química na resposta ao tratamento térmico.

Em contrapartida, o ASTM A182 F-22, embora também forme martensita, apresenta diferenças morfológicas associadas à sua menor concentração de elementos de liga, o que limita sua capacidade de estabilização dessa fase e diminui sua temperabilidade em comparação ao AISI 8630M. Dessa forma, as diferenças

microestruturais identificadas não se restringem apenas ao aspecto visual das fases, mas refletem diferenças no mecanismo de transformação e na resposta de cada liga, deixando nítida a relação direta entre composição e cinética de transformação.

4.1.3. Estado temperado e revenido

O revenimento foi aplicado com o objetivo de aliviar as tensões internas e otimizar a tenacidade do material. A transformação para martensita revenida foi observada (Figura 3), caracterizando uma microestrutura que combina dureza, resistência mecânica e tenacidade.

Durante o revenimento ocorre a decomposição parcial da martensita, com precipitação de carbonetos finos dispersos na matriz ferrítica. Estudos recentes em aços Ni-Cr-Mo indicam que o revenimento influencia a estabilidade estrutural desses materiais [10].

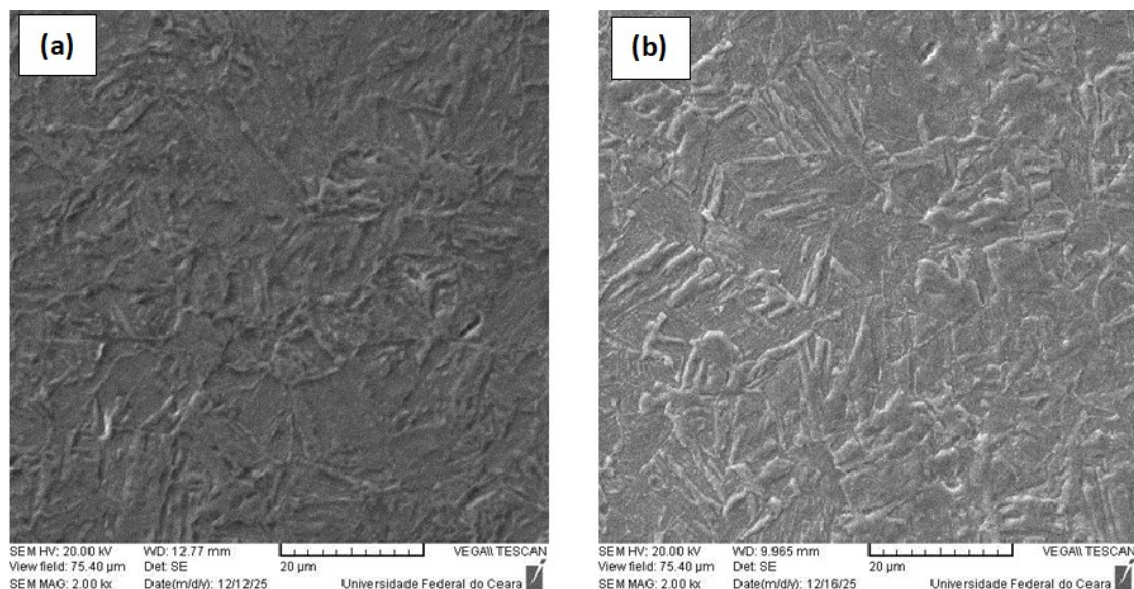


Figura 3: Microestruturas no estado de têmpera + revenido: (a) AISI 8630M; (b) ASTM A182 F22. Aumento de 2000x

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).



A análise revela que o molibdênio desempenhou um papel fundamental nesta etapa. Conforme apontado por Moura Filho [4] e Oliveira [5], a presença desse elemento retarda o amolecimento excessivo do material, ancorando a estrutura e garantindo que o aço mantenha níveis adequados de dureza. Esse comportamento também é descrito em aços Cr-Mo submetidos ao revenimento [9].

Enquanto o AISI 8630M ainda preserva traços da morfologia original em função de sua forte liga, o ASTM A182 F-22 já demonstra uma transição mais clara para um estado de maior estabilidade térmica após o revenimento. Essa diferença está relacionada à atuação dos elementos de liga durante o aquecimento, especialmente do molibdênio, que influencia a precipitação de carbonetos e a resistência ao amolecimento, modificando a resposta microestrutural de cada material.

Essas distinções evidenciam que o AISI 8630M mantém maior potencial de endurecimento residual após o tratamento térmico, ao passo que o ASTM A182 F-22 apresenta comportamento mais estável sob exposição térmica prolongada. Assim, a escolha entre essas ligas deve considerar o equilíbrio entre resistência mecânica e estabilidade térmica, de modo a adequar o material às condições específicas de serviço.

5. Considerações finais

A análise comparativa entre os aços AISI 8630M e ASTM A182 F-22 permitiu confirmar a estreita relação entre as rotas de tratamento térmico, a composição química e o comportamento microestrutural das ligas, conforme evidenciado nas micrografias obtidas por MEV. No estado recozido, ambas atingiram microestruturas de equilíbrio, evidenciando esta rota como a mais adequada para maximizar a ductilidade, embora o 8630M apresente um refinamento superior, atribuído à interação entre carbono e níquel, observado pela maior homogeneidade da matriz e distribuição das fases.

Após a têmpera, a formação de martensita acicular evidenciou a maior temperabilidade do AISI 8630M, caracterizada por morfologia mais uniforme quando



comparada ao ASTM A182 F-22. A presença combinada de Ni, Cr e Mo promoveu uma estabilização mais eficiente da fase martensítica, consolidando a aplicação desta liga em componentes que exigem elevados níveis de dureza e resistência ao desgaste, inferência baseada na microestrutura observada e na fundamentação da literatura técnica, uma vez que não foram realizados ensaios mecânicos neste estudo. No tratamento de revenimento, o Mo mostrou-se determinante para a estabilidade térmica, retardando o amolecimento e favorecendo a precipitação controlada de carbonetos, aspecto coerente com as características microestruturais identificadas nas imagens analisadas.

Sob o ponto de vista de aplicação industrial, o aço ASTM A182 F-22 mostra-se mais adequado para componentes sujeitos a temperaturas elevadas e solicitações moderadas de tensão nos quais a estabilidade microestrutural e a resistência à fluência são requisitos fundamentais, considerando seu comportamento observado após o revenimento. Em contrapartida, o AISI 8630M apresenta maior aptidão para aplicações que demandam elevada resistência mecânica, tenacidade e resistência ao desgaste, com base na maior uniformidade martensítica identificada após a têmpera.

Conclui-se, portanto, que, enquanto o ASTM A182 F-22 se destaca pela ductilidade e estabilidade microestrutural, o AISI 8630M sobressai pela resposta mecânica superior decorrente de sua maior concentração de elementos de liga, ressaltando-se que tais conclusões estão fundamentadas na caracterização microestrutural qualitativa realizada. Dessa forma, a sequência de têmpera e revenimento configura-se como a rota de processamento mais eficaz para ambas as ligas em aplicações industriais de alta exigência.

Como limitação do presente estudo, destaca-se a ausência de ensaios mecânicos e análises quantitativas de fração de fases ou tamanho de grão, o que restringe a correlação direta entre microestrutura e propriedades mecânicas.

Como desdobramento futuro, recomenda-se a realização de ensaios de dureza, tração e impacto, bem como análises quantitativas por microscopia e estudos da cinética



de transformação, a fim de aprofundar a compreensão do comportamento desses aços sob diferentes condições térmicas.

6. Declaração de direitos

Os autores declaram ser detentores dos direitos autorais da presente obra, que o artigo não foi publicado anteriormente e que não está sendo considerado por outra(o) Revista/Journal. Declaram que as imagens e textos publicados são de responsabilidade dos autores, e não possuem direitos autorais reservados a terceiros. Textos e/ou imagens de terceiros são devidamente citados ou devidamente autorizados com concessão de direitos para publicação quando necessário. Declaram respeitar os direitos de terceiros e de Instituições públicas e privadas. Declaram não cometer plágio ou autoplágio e não ter considerado/gerado conteúdos falsos e que a obra é original e de responsabilidade dos autores.

7. Referências

1. Callister Jr., W.; Rethwisch, D. G. Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais. Rio de Janeiro: LTC, ISBN 9788521631630, 9. ed., 2016.
2. Colpaert, H. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. São Paulo: Blucher, ISBN 9788521204346, 4. ed., 2008.
3. Dantas, V. A.; Silva Júnior, M. Q.; Gomes, A. V. R. Estudo das propriedades mecânicas para diversos tratamentos térmicos do aço ASTM A182 F22. *In*: Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. São Paulo: Metallum, v. 22, p. 4930-4941, 2016.
4. Moura Filho, A. J. S. Avaliação de juntas soldadas dos aços AISI 8630M e ASTM A182 F22 amanteadas pelo processo PTA com a liga de níquel UNS N06625. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Ceará, 2014.
5. Oliveira, G. L. G. de. Soldagem dissimilar dos aços AISI 8630M e ASTM A182 F22 para aplicações subaquáticas. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Materiais). Universidade Federal do Ceará, 2013.



6. Universidade Federal do Paraná (UFPR). Efeito dos Elementos de Liga nos Aços. Curitiba: Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC/LABATS), v. 32 p. Notas de aula, 2017.
7. Vale, A. R. M. do. Tratamento térmico dos aços. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2011.
8. Venus Wires. Datasheet: SS Grade 8630M. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.venuswires.com/datasheet/ss-grade-8630m16523.php>. Acesso em: 22 nov. 2025.
9. Xia, T.; Ma, Y.; Zhang, Y.; Li, J.; Xu, H. Effect of Mo and Cr on the microstructure and properties of low-alloy wear-resistant steels. *Materials*, Basel, ISSN 1996-1944, v. 17, n. 10, 2408, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma17102408>.
10. Del Rio, F. W.; Martin, M. L.; Santoyo, R. L.; Lucon, E. Effect of tempering on the ductile-to-brittle transitional behavior of Ni-Cr-Mo low-alloy steel. *Experimental Mechanics*, ISSN 0014-4851 v. 60, n. 8, p. 1167–1172, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11340-020-00630-4>.