

AISI 420 – Têmpera e Revenimentos

João Carmo Vendramim, Eng.MSc

1. Introdução

Este texto discute, de maneira breve, importantes aspectos da seleção de temperaturas de têmpera e revenimentos das diferentes marcas dos fabricantes de aços para o aço AISI 420 em função das propriedades mecânicas que se desejaria alcançar, ou “*potencializar*”, tais como: “*dureza*”, “*resistência à corrosão*” e “*tenacidade*”.

A maioria de Moldes, ou Matrizes, construídos em aço inoxidável martensítico utiliza este com a denominação genérica de “*aço 420*”. Os fabricantes de aços oferecem o aço AISI 420 com algumas variações na composição química para reforçar uma, ou mais, propriedades, tais como: “*resistência à corrosão*”, “*polibilidade*”, “*tenacidade*” e “*dureza*”. Cada um dos aços produzidos com variações na composição química indicada pela norma AISI recebe um nome do seu respectivo fabricante. A Tabela 1 mostra 12 diferentes composições químicas das diversas marcas de aço AISI 420 dos fabricantes de aços desenvolvidos para atender às “*condições especiais*” de aplicação e, ou, desempenho.

Tabela 1 – Composição química (%) e marcas de fabricantes do aço AISI 420

Marcas	C	Cr	Mo	Outros
AISI 420	0,15 -.0,40	12,0 -14,0		
1 VC150	0,35	13,0		
2 VP420IM	0,40	13,5		0,25 V
3 420	0,15 min	12,0 – 14,0		
4 420 F	0,15 min	12,0 – 14,0	0,60 max	
5 420 FSe	0,30 – 0,40	12,0 – 14,0		Se 0,15 min
6 M310	0,41	14,3	0,60	0,20 V
7 M333	0,28	13,5	-	N
8 M340	0,54	17,30	1,10	0,10 V
9 STAVAX SUP	0,25	13,3	0,3	Ni 1,4; V 0,3 + N
10 THY 2190	0,40	13,50		0,25 V
11 THY 2316	0,36	16,0	1,2	
12 ESKYLOS 2083	0,35-0,45	12,50-13,50		Si e V <1,00

Legenda:

10 e 2 – VILLARES METALS; 3, 4 e 5 – GERDAU; 6, 7 e 8 – BOEHLER; 9 – UDDEHOLM
10 e 11 – SCHMOLZ-BICKENBACH; 12 – LUCCHINI



Por comodidade o usuário do aço costuma se referir ao aço AISI 420 apenas e genericamente como “aço 420”. Não é comum, mas o Distribuidor de Aços também pode se referir às diferentes marcas desses aços no mercado como apenas “420”. Esse involuntário não compromisso em declinar a verdadeira origem do aço (fabricante) para o “*tratador térmico*” tem impacto na operação de tratamento térmico, pois as diferentes marcas possuem distintos parâmetros de processo para temperaturas de “*austenitização*” (temperatura de têmpera) e, principalmente, para as temperaturas da etapa de revenimento. A consequência disso é que a “*potencialização*” da(s) propriedade(s) que se busca pode(m) não ser alcançada(s) e, talvez, até contribuir para desenvolver uma não-conformidade grave se selecionada incorretamente como, por exemplo, a nucleação de trincas durante, ou após, o tratamento térmico, na etapa de usinagem final de construção da matriz, ou depois de certo tempo de utilização (*trinca em rosca de canal de refrigeração, por exemplo*).

As propriedades que se busca alcançar para o aço inoxidável AISI 420 são atendidas com a realização de um correto tratamento térmico. A “*dureza*” do aço é uma propriedade que pode ser avaliada de maneira rápida e eficiente depois do tratamento térmico e se situar, dependendo da aplicação do aço, numa ampla faixa que compreende de 40 até 58 HRC. A busca de propriedades como “*polibibilidade*”, “*resistência à corrosão*”, “*tenacidade*” e menor “*tensão residual*” não poderia levar em consideração apenas a dureza do aço, pois, como se pretende mostrar aqui, não seria possível compatibilizar, por exemplo, “*máxima resistência à corrosão*” e “*menor dureza*”, ou “*menor tensão residual*” e “*máxima tenacidade*”. O concurso simultâneo dessas propriedades não é possível e algum “preço” deverá ser pago para selecionar a propriedade de maior interesse, sem comprometer o melhor, ou o bom, desempenho da ferramenta construída em aço inoxidável martensítico [1].

2. Propriedades

O tratamento térmico deve ser executado obedecendo às recomendações dos fabricantes dos aços e às condições específicas da tecnologia de aquecimento e resfriamento utilizados neste processo. A literatura técnica



especializada e o fabricante de aço fornecem diagramas que retratam as propriedades e as temperaturas recomendáveis para se obter a melhor combinação de propriedades, tais como a “resistência a corrosão”, “tenacidade”, “tensão residual” e a “dureza” e que serão discutidas a seguir.

As Figuras 1 e 2, por exemplo, mostram os diagramas que relacionam “dureza” versus “temperaturas” para o tratamento térmico de “revenimento” dos aços Stavax ESR e M310 [2] [3]. É interessante observar o comportamento desses aços às temperaturas de revenimentos. Na medida que a temperatura de revenimento sobe até 300 °C, aproximadamente, a dureza decresce, porém sofre um incremento desta para temperaturas maiores até a ordem de 480 °C. A partir dessa temperatura (480 °C), a dureza experimenta queda abrupta para mínimos incrementos desta. E a zona de temperatura compreendida entre 300 e 500 °C resulta em diferentes propriedades mecânicas que podem afetar o desempenho da peça construída em aço AISI 420.

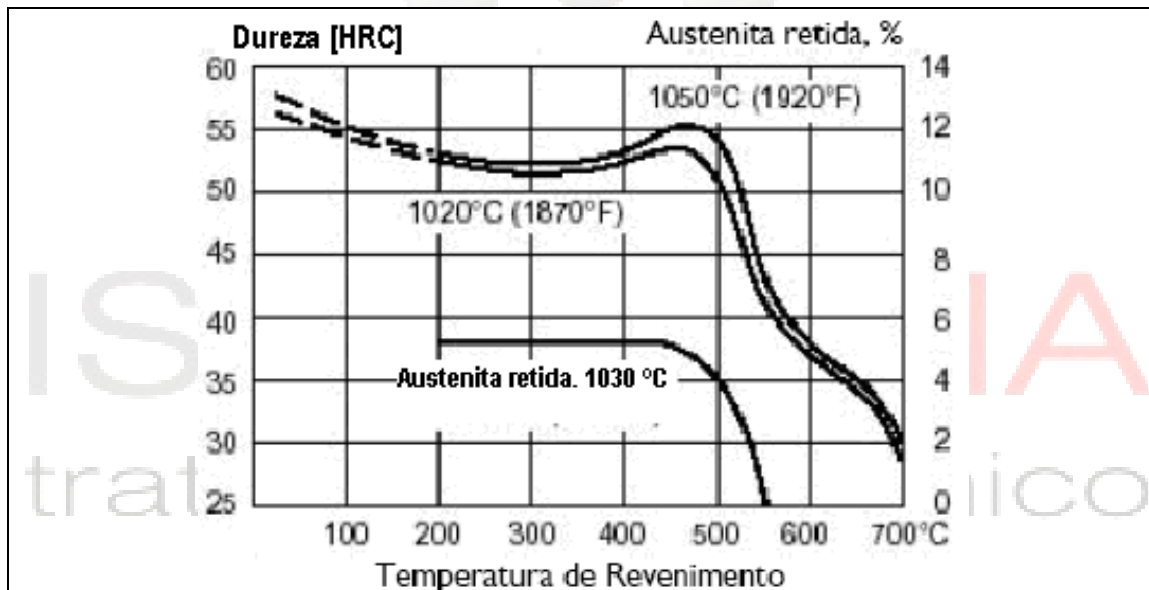


Figura 1 – Curva de dureza para o revenimento do aço Stavax ESR [2]

A Figura 2 mostra o comportamento da dureza para o aço M310 temperado de diferentes temperaturas de “austenitização” (temperatura de têmpera) [3]. Nesses casos, semelhante ao comportamento do aço mostrado na Figura 1, uma maior temperatura de austenitização eleva a curva de dureza para as temperaturas de revenimento.

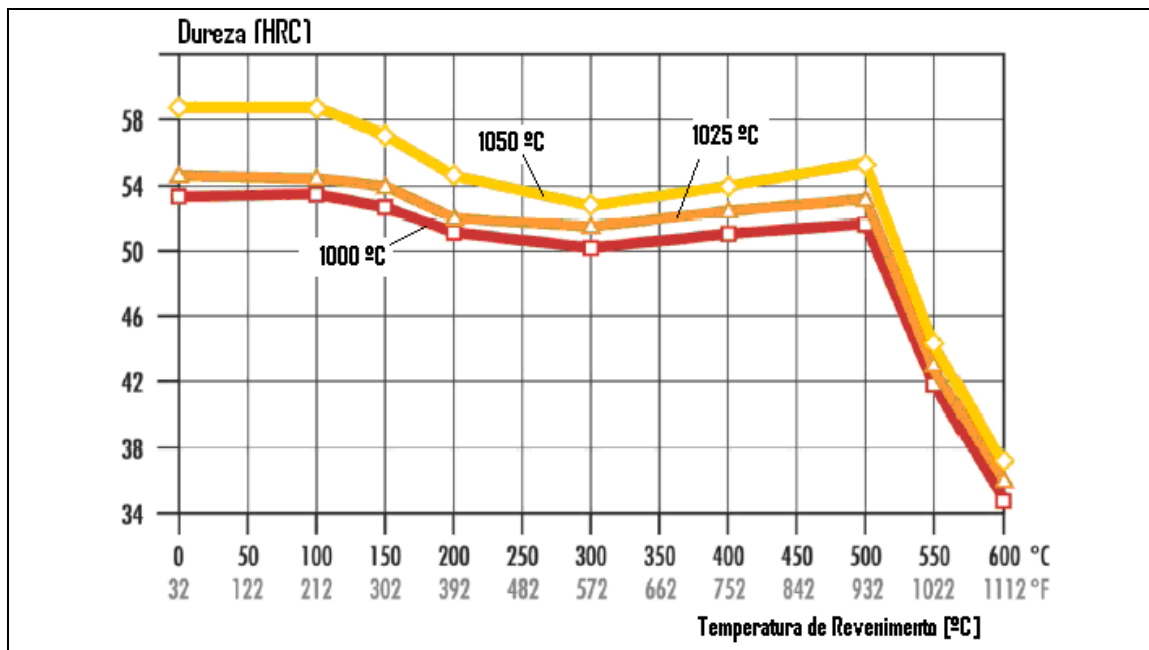


Figura 2 – Curva de dureza para o revenimento do aço M310 [3]

Em vista do mostrado nas Figuras 1 e 2 é importante conhecer aspectos do projeto construtivo e aplicação da peça antes da seleção dos parâmetros de temperaturas para têmpera e revenimentos. E também conhecer as etapas de finalização de construção da peça, tais como “*corte a fio*”, “*eletroerosão*”, “*nitretação*” e “*revestimento PVD*”, para reduzir o risco, ou mesmo não produzir, eventos não-conformes tais como “*trincas*”, “*baixa qualidade de polimento*”, menor “*resistência à corrosão*”, “*tensão residual*” elevada, etc...

Quando necessário melhorar a resistência ao desgaste a nitretação pode ser realizada.

A Figura 3 mostra o comportamento da propriedade resistência à corrosão para o aço Stavax ESR. Observa-se nesse gráfico que a resistência à corrosão sofre redução com o aumento da temperatura, porém a partir de 500 °C inicia um processo de recuperação lenta dessa propriedade. Assim, para manter a propriedade de resistência a corrosão é recomendável realizar o revenimento em temperaturas inferiores a 300 °C.

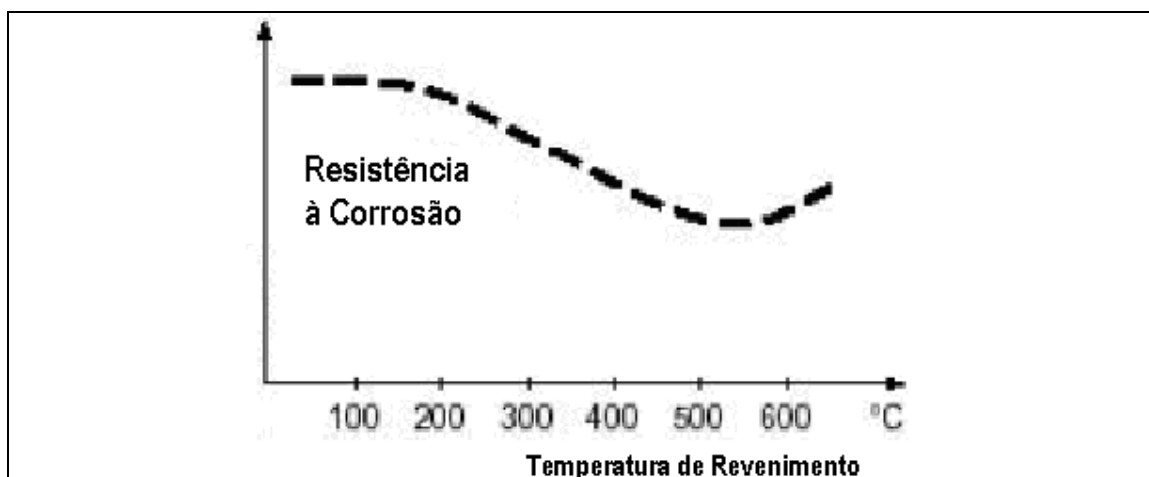


Figura 3 – Resistência à corrosão versus temperatura de revenimento do aço Stavax ESR [2]

O aço inoxidável martensítico apresenta alteração dimensional conforme se eleva a temperatura do revenimento. A partir de 300 °C o aço experimenta considerável alteração dimensional como mostrado na Figura 4 em ensaios realizados para o aço Stavax ESR. Observa-se que essa variação dimensional é crescente conforme se eleva a temperatura de revenimento, alcançando o valor máximo na faixa de temperatura de 500 a 550 °C, justamente a faixa utilizada para quando se deseja obter dureza inferior a 50 HRC. Em decorrência disso, deve-se prever adequado sobremetal para as peças, ou ferramentas, construídas em aço inoxidável martensítico e na situação de projeto em que a dureza deve se manter inferior a 50 HRC.

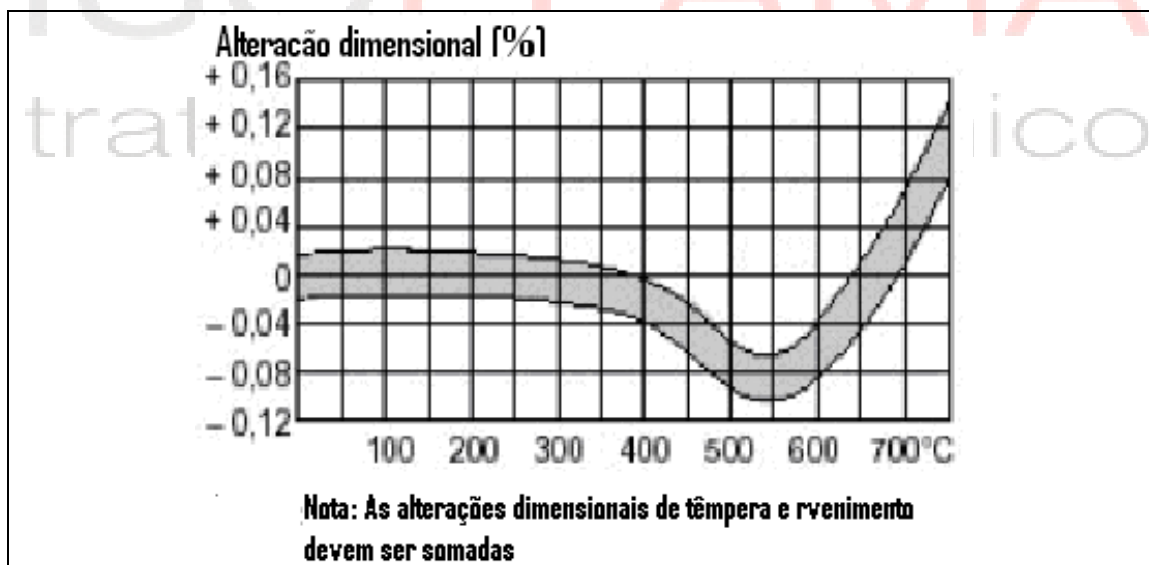


Figura 4 – Alteração dimensional em função da temperatura de revenimento [2]



A Figura 5 mostra todas as propriedades do aço 420F obtidas em ensaios destrutivos de corpos de prova para as propriedades “resistência à tração”, “limite de escoamento”, “tenacidade” e “dureza” [4]. A curva de tenacidade obtida mostra uma variação em função da temperatura de revenimento, ou seja, alcança um valor máximo em temperaturas na faixa de 250 a 300 °C para, em seguida, sofrer declínio até a temperatura próxima de 500 °C e, a partir desta temperatura a curva sofre uma inflexão na direção de crescentes valores conforme incrementa a temperatura. Em contrapartida, a curva de dureza a partir de 500 °C, como mostrado nesse diagrama, experimenta redução para pequenos incrementos da temperatura. Assim, também nesse caso, deve se utilizar temperaturas superiores a 500 °C quando se desejar obter dureza inferior a 50 HRC.

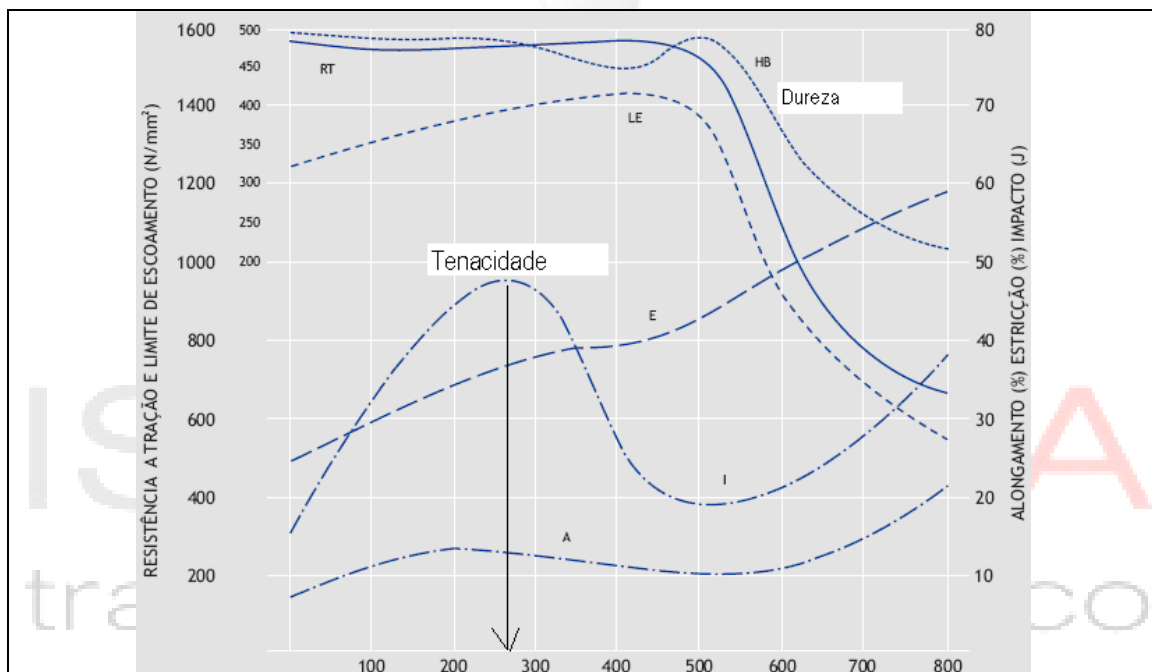


Figura 5 – Principais propriedades do aço 420 F [4].

A Figura 6 mostra o comportamento das propriedades “dureza” e “tenacidade” para o aço M333 [3]. Esse aço mostra o mesmo comportamento para as propriedades “tenacidade” e “dureza” do aço 420F em função da temperatura de revenimento, porém com valores diferentes destas.

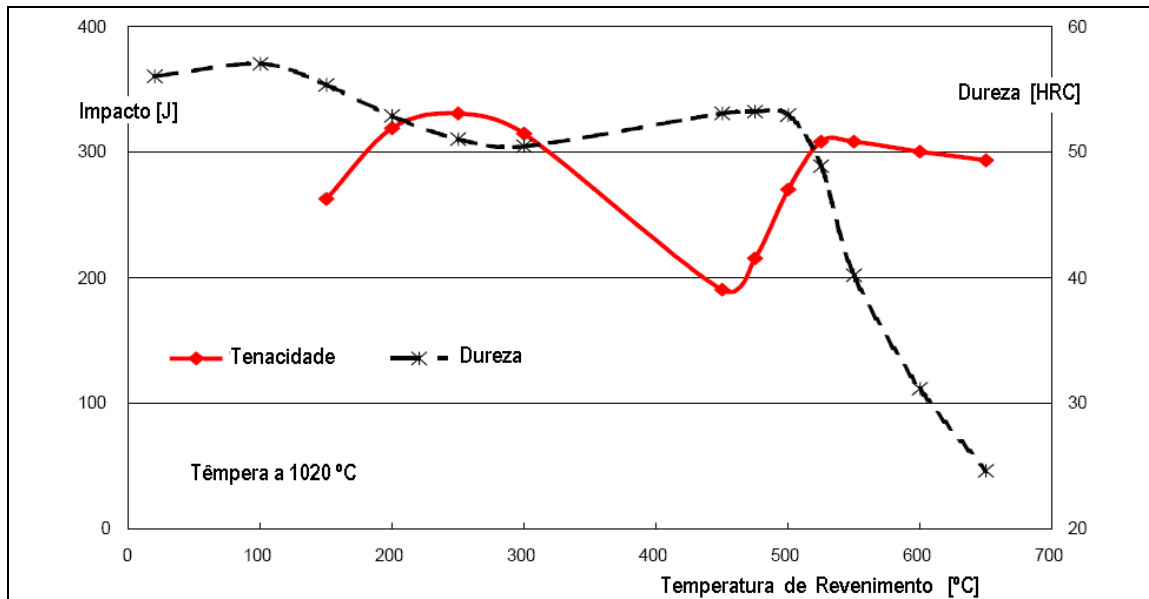


Figura 6 – Propriedades de “tenacidade” versus “dureza” do aço M333 [3]

A Figura 7 apresenta a propriedade “tenacidade” em função da temperatura de revenimento utilizada para o aço M333. O fabricante desse aço sugere que para peças compactas, ou de pequenas dimensões, estas poderiam ser utilizadas com a dureza de 54 HRC (*dureza obtida na faixa de temperatura de revenimento de 200 a 300 °C*), obtendo-se a condição de melhor “resistência a corrosão” e “tenacidade”. Para peças complexas, grandes, como é o caso de algumas matrizes para injeção de plástico com cavidades, canais de refrigeração, furos com rêsca, brusca mudança de forma e dimensões, a dureza recomendável, conforme sugere o fabricante desse aço, seria na ordem de 48 a 52 HRC (*dureza obtida para temperaturas de revenimento superior a 500 °C*) e menor quadro de tensão residual. A tensão residual é o resultado das tensões desenvolvidas durante o tratamento térmico de têmpera e revenimento e que, neste caso, são “tensões de tração” na superfície do aço [5]. O melhor tratamento térmico busca reduzir ao máximo essas “tensões de tração” na superfície. Dessa forma, para um dado tipo de peça, ou matriz, as operações finais de construção – *eletroerosão, corte a fio*, aplicação de revestimento duro tipo “PVD” – condicionariam a seleção da melhor temperatura do tratamento térmico da etapa de revenimento.

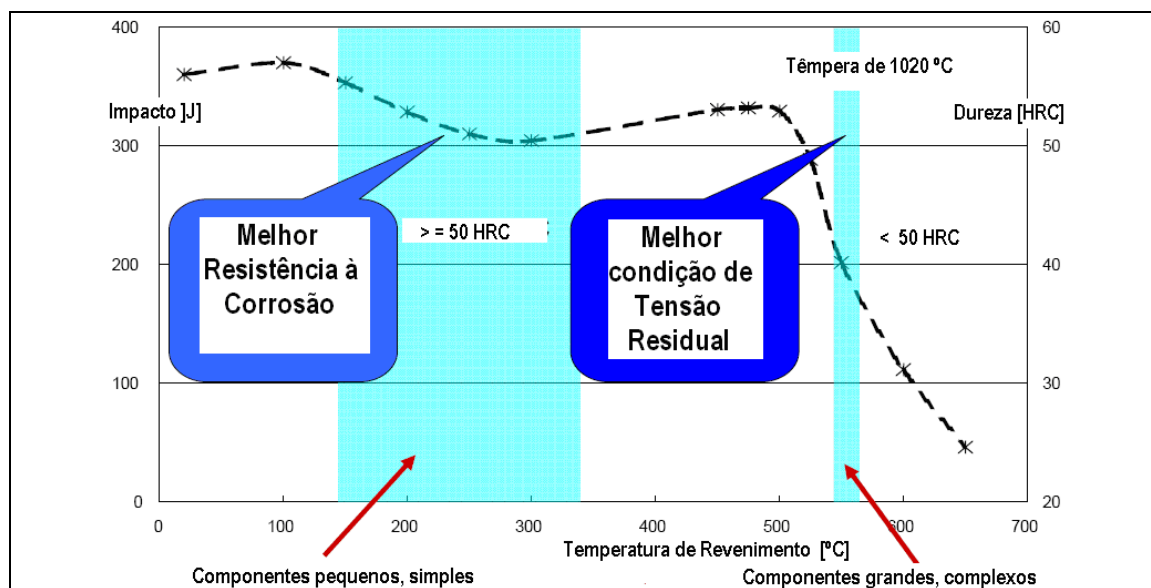


Figura 7 – Comparação das propriedades “resistência à corrosão” e “tensão residual” para o aço M333 [3]

3. Tratamento Térmico

O tratamento térmico seleciona os parâmetros de processo para atender à principal especificação dos aços e mede, a priori, o sucesso deste através do ensaio não destrutivo de “dureza”. Entretanto, como se depreende da observação das Figuras 5, 6 e 7 acima, nem sempre a propriedade dureza pode espelhar o melhor resultado para propriedades como “resistência a corrosão”, “tenacidade” e “tensão residual”. Nas situações de pequenos componentes em que se busca “polibibilidade” e “resistência a corrosão” a temperatura de revenimento deve se situar entre 250 e 300 °C. Porém mesmo para pequenos componentes onde existem etapas posteriores tais como “eletroerosão”, “corte a fio” e, ou, “revestimento duro”, deve-se utilizar temperaturas de revenimento acima de 500 °C e, neste caso, não deve privilegiar a propriedade “dureza”. Para se obter a melhor combinação de “resistência à corrosão” e “tenacidade”, o revenimento deve ser executado na temperatura próxima de 250 °C, conforme mostrado na Figura 5 e 7, entretanto a dureza resultante será de, no mínimo, 50 HRC, o que poderia causar dificuldades na operação de usinagem posterior dependendo do equipamento a ser utilizado e aumentar, vale insistentemente, lembrar, o risco de se produzir



“trincas” caso o aço da peça, ou matriz, ainda seja submetido a operações finais de “*eletroerosão*” e, ou, “*corte a fio*”.

Dessa forma, e resumidamente, as seguintes considerações poderiam ser utilizadas como critérios na determinação da melhor temperatura de revenimento, ou mesmo da melhor rota de tratamento térmico, tendo em vista alcançar o melhor desempenho da ferramenta em trabalho, ou “*potencializar adequadas propriedades*”:

- a) Seria possível a usinagem na dureza acima de 50 HRC?
- b) Estaria prevista alguma operação de “*erosão / corte a fio*” depois do tratamento térmico?
- c) A superfície do aço deve sofrer modificação por nitretação e, ou, aplicação de revestimentos duros tipo “*PVD*” depois da têmpera e revenimento?
- d) A propriedade “*resistência à corrosão*” não seria relevante?
- e) A condição de “*tensão residual*” tem importância?

Se a resposta é “*sim*” para todas as questões acima o revenimento deverá ser realizado, indubitavelmente, em temperatura acima de 500 °C. A temperatura de revenimento somente poderia estar na faixa de 200 a 300 °C se a resposta fosse “*não*” para os itens “*b*” e “*c*”. Assim, na seleção da melhor temperatura de revenimento é de suma importância o operador do equipamento de tratamento térmico conhecer as informações citadas acima. Harmonizar todas as propriedades como “*dureza*”, “*resistência à corrosão*”, máxima “*tenacidade*” e menor “*tensão residual*” não será possível e uma “*escolha*” deve ocorrer, em termos de qual propriedade se desejaria privilegiar para o melhor desempenho do aço da peça.

A Figura 8 mostra um fluxograma com a sugestão de possíveis rotas de tratamento térmico para os aços inoxidáveis martensíticos do tipo AISI 420. A rota de tratamento térmico que contemplaria dois (2) revenimentos (*mandatório*) à temperatura, igual, ou maior a 500 °C pode tornar necessário acrescentar (*recomendável*) um tratamento térmico final de alívio de tensão (~



500 °C) se para concluir a construção do molde ainda ser necessário operações de “retífica”, “eletroerosão” e, ou “corte a fio”. Nesse caso é recomendável a realização desse tratamento de “alívio de tensão” em forno a vácuo para preservar a superfície acabada do aço da peça, matriz, ou ferramenta.

A utilização da rota com o tratamento térmico “sub-zero” e, ou “criogenia”, apesar de mais interessante para harmonizar as propriedades de “resistência à corrosão” e “tenacidade”, em função da “redução à zero” do microconstituente “austenita” que não sofreu transformação martensítica na etapa de têmpera, deve ser objeto de acurada análise, “caso a caso”, em função de elevados riscos na geração de trincas nesta operação.

Adotada a Rota 2 para manter as propriedades de resistência a corrosão e se necessária a nitretação, ou revestimento PVD, posteriormente quando a peça na dimensão final, a propriedade resistência a corrosão será alterada (*em razão da alta temperatura da nitretação*) e outras implicações podem ocorrer como, por exemplo, variação dimensional (*temperatura de nitretação superior ao da temperatura de revenimento utilizada*).

Importante ressaltar que esse fluxograma para rota de processos é uma simplificação básica e não seria a resposta definitiva para a seleção dos parâmetros dos processos térmicos, pois ainda precisariam ser considerados aplicação e projeto da peça e outras variáveis aqui não contempladas.

tratamento térmico

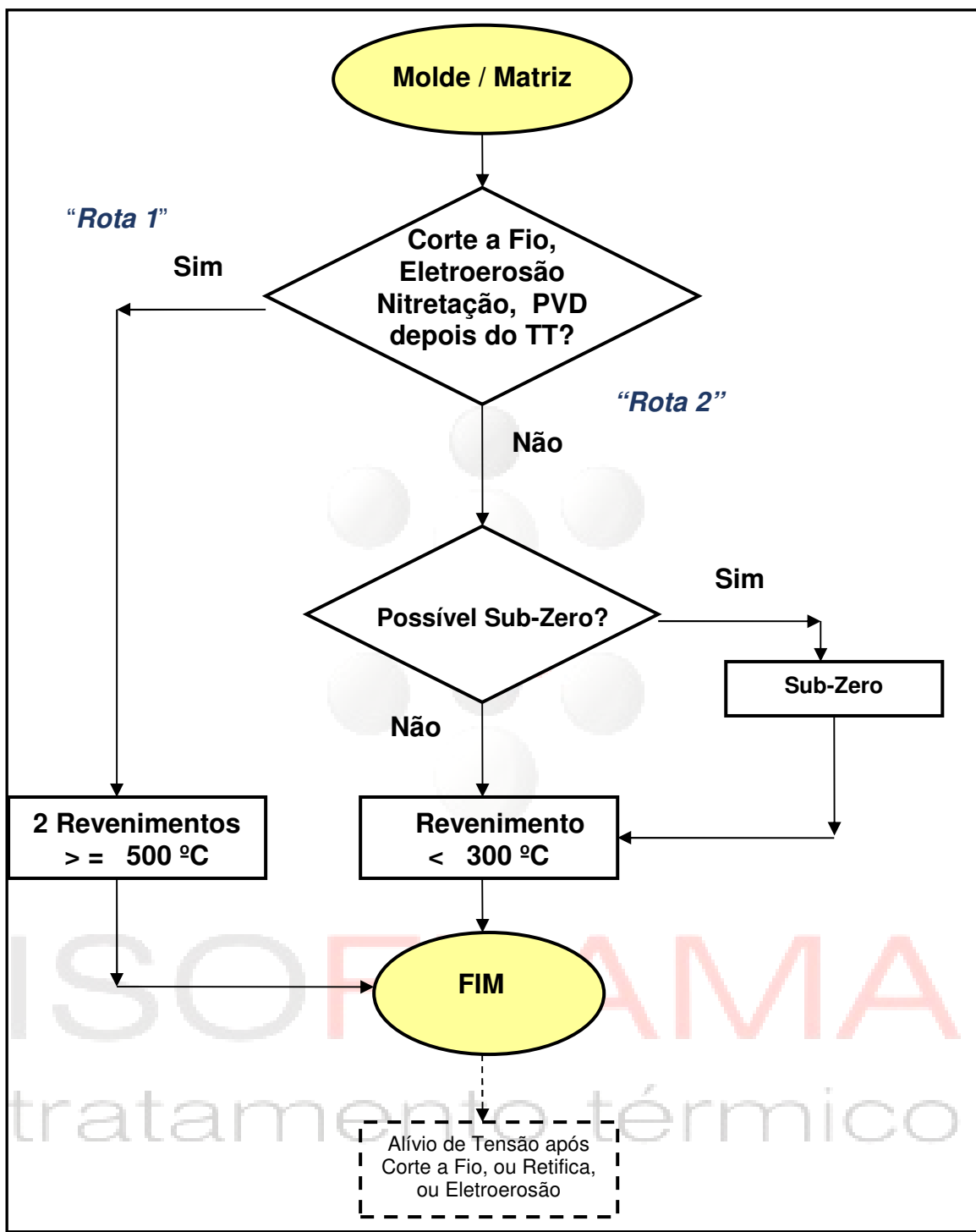


Figura 8 – Fluxograma de rotas possíveis de tratamento térmico para o aço AISI 420.



4. Conclusão

As breves informações desenvolvidas nesse texto servem como orientação ao responsável pelo desenvolvimento do processo térmico do aço de uma peça construída em inoxidável tipo AISI 420. E o usuário que solicita o processo térmico de Têmpera e Revenimentos do aço da peça em inox 420 teria importante contribuição quando informa as principais propriedades que devem ser privilegiadas ao responsável pela execução da têmpera e revenimentos. Na medida do possível, essa discussão seria até recomendável ocorrer no estágio de projeto da peça.

Do brevemente exposto neste texto com vista a seleção das corretas temperaturas de têmpera e revenimentos para o melhor desempenho de moldes e matrizes, ou peças, construídas no aço inoxidável martensítico AISI 420, conclui-se:

- A “*dureza*”, a priori, não seria a principal propriedade a ser considerada no projeto da ferramenta.
- A máxima “*resistência à corrosão*” condicionaria a realização do revenimento na faixa de temperatura de 200 a 300 °C, o que resultaria em dureza final acima de 50 HRC e maior “*tensão residual*”.
- A faixa de temperatura de 200 a 300 °C proporcionaria a melhor “*tenacidade*”, porém com maior “*tensão residual*”.
- A condição de menor “*tensão residual*” seria para revenimentos realizados nas temperaturas acima de 500 °C.
- Operações depois do tratamento térmico, tais como “*corte a fio*”, “*eletroerosão*”, “*retífica*”, revestimentos duros tipo “*PVD*”, e “*nitretação*”, condicionaria a seleção da temperatura de revenimento de igual, ou maior, a 500 °C. Nesse caso, a dureza final poderá, em função da marca de aço equivalente ao AISI 420, ser inferior a 50 HRC.
- Realizar Alívio de Tensão depois de eletroerosão, corte a fio e retífica





Bibliografia

- [1] Heat Treatment of Martensitic Stainless Steels: Critical Issues in Residual Stress and Corrosion. E.D.Doyle; F.Kolak, Y.C.; Wong and T. Randle. Faculty of Engineering and Industrial Sciences, Swinburne University of Technology, Hawthorn, Victoria 3122, Australia.
- [2] Catálogo de aços Uddeholm
- [3] Catálogo de aços Boehler
- [4] Catálogo de aços Gerdau
- [5] Fadiga dos Materiais. Fem-Unicamp, Pós-graduação, Prof.I. Ferreira, 2003

ISOFLAMA
tratamento térmico