ANÁLISE MICROESTRUTURAL E DE DUREZA DO AÇO SAE 1050 APÓS PROCEDIMENTO DE TÊMPERA UTILIZANDO DIFERENTES FLUIDOS DE RESFRIAMENTO

MICROSTRUCTURAL ANALISYS AND HARDNESS EVALUATION OF SAE 1050 STEEL AFTER DIFFERENT FLUIDS QUENCHING

Otávio Contart Gamboni[I]
Péricles Bosquetti[II]
João Vitor Jardim[III]
Bruno de Paulo Ferreira[IV]

RESUMO

Amplamente utilizado nas indústrias para fabricação de peças e equipamentos, o aço SAE 1050, por se tratar de aço de médio carbono de baixa dureza, geralmente passa por um processo de tratamento térmico conhecido como têmpera antes de ser empregado. A têmpera é um processo que altera a microestrutura do aço por meio do aquecimento, seguido de um rápido resfriamento, objetivando o aumento da dureza pela formação de martensita; sendo o resultado muito dependente da velocidade de resfriamento. O presente artigo buscou analisar o as microestruturas formadas a partir da têmpera do aço SAE 1050 quando resfriado de diferentes modos. A maioria dos fluidos utilizados não são normalmente aplicados em âmbito industrial para tal finalidade; buscando-se então, novas opções que possam agregar na escolha de fluidos para resfriar esse tipo de aço. Foi realizada a análise química, ensaios de dureza e caracterizações microestruturais do aço SAE 1050, antes e após o tratamento térmico. Pode-se concluir que, dentre os tipos de fluidos testados, um tipo de óleo mineral normalmente utilizado em transmissões automotivas resultou em um elevado valor de dureza, quando comparado a outros tipos de óleo aplicados a esse tratamento térmico.

Palavras-chave: Aço-Carbono. Têmpera. SAE 1050. Microestrutura. Dureza.

ABSTRACT

Widely used in the parts and equipment manufacturing industries, SAE 1050 steel, because it is medium carbon steel with low hardness, usually undergoes a heat treatment process known as quenching before being used. Quenching is a process that alters the microstructure of the steel through heating, followed by cooling, aiming at increasing the hardness; the result being very dependent on the cooling rate. The present article sought to analyze the structures formed by this heat treatment and its hardness when the steel is cooled in different fluids after the tempering process. Since most of the fluids used are not normally applied in an industrial environment for this purpose; looking for new options that can add in the choice of fluids to cool this type of steel. The chemical analysis, hardness tests and microstructural characterization of the previous SAE 1050 steel and after the tempering procedure were

[I] Prof. Dr. da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail:otavio.gamboni@fatec.sp.gov.br
[II] Prof. Dr. da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: pericles.bosquetti@fatec.sp.gov.br
[III] Tecnólogo em Manutenção Industrial - Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: joaovitor.jardim@outlook.com
[IV] Tecnólogo em Manutenção Industrial - Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: bruno.spn560@gmail.com

performed. It can be concluded that, among the types of fluids tested, a type of mineral oil normally used in automotive transmissions resulted in a high hardness value when compared to other types of oil applied to this heat treatment.

Keywords: Steel. Quenching. SAE 1050. Microstructure. Hardness.

Data de submissão do artigo: 16/09/2020.
Data de aprovação do artigo: 07/11/2020.
DOI: 10.33635/sitefa.v3i1.142

1 INTRODUÇÃO

O setor de construção mecânica, que é um dos seguimentos da indústria brasileira com mais forte demanda de serviços atualmente, impulsionado pelas indústrias metalúrgicas, e de produção de gás e petróleo, que necessitam constantemente desse tipo de serviço, consiste principalmente na projeção, construção e montagem de equipamentos e estruturas utilizando materiais metálicos, tais como inox, aço-carbono e outras ligas metálicas.

Entre os aços-carbono que são empregados nesse seguimento, o aço SAE 1050 é um dos mais amplamente utilizados, por se tratar de um aço médio carbono, segundo norma SAE-J404:1994, que figura entre 0,48% - 0,55% de carbono, e com satisfatórias propriedades mecânicas, ideal para construção de engrenagens, componentes estruturais, eixos, ferramentas manuais, entre outros.

Normalmente, essa variedade de aço-carbono, antes do processo de construção da peça ou equipamento, recebe um processo de tratamento térmico, conhecido como têmpera, envolvendo aquecimento e resfriamento subsequente, dentro de condições controladas de temperatura, tempo, ambiente de aquecimento e velocidade de resfriamento, que mudam a caracterização microestrutural do material, buscando melhorar as propriedades do aço em questão, principalmente a dureza.

Dependendo da velocidade do resfriamento do aço-carbono superaquecido, que geralmente envolve água ou óleo, a microestrutura modifica-se; logo, mudando as propriedades mecânicas do aço (CHIAVERINI, 2008).

A finalidade deste estudo é analisar a microestrutura e a dureza, antes, e pós-tratamento de têmpera do aço SAE 1050 utilizando diversos líquidos de resfriamento, alguns deles não convencionalmente utilizados para este fim dentro das indústrias. Entre os fluidos estão: óleos minerais, óleo vegetal, óleo térmico especial para têmpera e água com gás, que fornecerão diferentes velocidades de resfriamento, gerando diferentes microestruturas e nível de dureza no aço-carbono em estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A escolha do tipo de aço que será utilizado na fabricação de uma peça, equipamento ou estrutura metálica é uma das tarefas mais complexas da engenharia de materiais, além de diversas propriedades que podem ser especificadas, sendo algumas delas: composição química, resistência à corrosão, temperabilidade, dureza, resistência ao impacto, o custo do material também deve ser levado em conta, para que seja economicamente viável para a empresa.

Essas especificações de materiais são derivadas, geralmente, do conhecimento acumulado sobre tal metal e sobre o comportamento e desempenho dele; sendo assim, quando se encontra uma combinação promissora de composição química e propriedades mecânicas após diversos testes, o material é selecionado para ser aplicado no projeto desejado.

No setor de construção mecânica, adotam-se materiais que atendam rigorosamente à faixa de composição química, visando à característica de temperabilidade do metal, pois normalmente são tratados termicamente para obter propriedades adaptadas para determinado uso. Por essa razão, é de salutar importância conhecer a composição química do aço com qual se pretende trabalhar, em qualquer setor da indústria; os aços em geral são classificados pela composição química (SILVA, MEI, 2010).

Dessa forma, o aço em estudo, SAE 1050, de acordo com a norma (SAE J-404:1994), pertence à família 10xx (aço-carbono simples), e contém no mínimo 0,48% a no máximo 0,55% de carbono (C), com teor de manganês (Mn) de no máximo 0,90%, e outros elementos químicos em porcentagens desprezíveis.

Conhecido por sua satisfatória tenacidade, que se resume na capacidade de resistir a impactos, sem que haja rompimento, e nas suas boas propriedades de soldabilidade e usinabilidade, essa variação de aço é constantemente adotada na indústria, quando o projeto trata da construção de eixos, virabrequins, engrenagens, entre outros elementos mecânicos; porém este tipo de aço, quando fornecido a partir de um processo de produção convencional, habitualmente não se encontra totalmente pronto para ser aplicado em um processo de fabricação de determinada peça ou equipamento, pois pode possuir características inadequadas, que irão influenciar negativamente no desempenho ou até mesmo comprometer completamente o equipamento, gerando prejuízos e riscos desnecessários (SILVA, 2012).

O aço SAE 1050, em sua forma-padrão (processo de fabricação convencional), se empregado na construção de equipamentos e estruturas mecânicas, que exigem o máximo de suas propriedades, pode sofrer com tensões internas, empenamentos, desgastes e mudanças estruturais indesejadas. Para evitar essas adversidades, é comum utilizar-se dos diferentes tipos de tratamentos térmicos existentes, que possibilitam a melhora das propriedades mecânicas do aço-carbono, adaptando-as as exigências do projeto (SILVA, 2012).

O tratamento térmico de maior importância utilizado nos aços de médio carbono, quando o propósito é a construção de equipamentos, é a têmpera, pois é por meio dele que se conseguem obter melhores propriedades de resistência mecânica e dureza (CHIAVERINI, 2008). O procedimento da têmpera consiste no aquecimento do aço-carbono até uma determinada temperatura, conhecida como temperatura de austenitização, seguido por um resfriamento, que pode ser rápido ou mais prolongado, em diversos meios, como: água, salmoura, óleo e ar; visando à obtenção da microestrutura conhecida como martensita (CHIAVERINI, 2008).

A velocidade de resfriamento é um dos fatores mais importantes quando se trata de tratamento térmico de têmpera, pois quanto mais rápida for a retirada de calor do aço, maior o nível de dureza encontrado (CHIAVERINI, 2008). Porém, o aumento do nível de dureza caracteriza também o aumento da fragilidade do material; por isso deve-se almejar um nível de dureza suficiente para construção de peças e equipamentos sem que torne o aço demasiadamente frágil (SILVA, MEI, 2010).

Os fluidos utilizados neste estudo, por serem diferentes, darão ao aço SAE 1050 diferentes velocidades de resfriamento; logo, diferentes níveis de dureza. Cada tipo de fluido de resfriamento utilizado possui as próprias características, entre elas, a viscosidade, que é uma das principais especificações dos óleos, tem índices diferentes em todos eles. A viscosidade pode ser definida como a resistência apresentada pelo fluido durante seu deslizamento sobre uma superfície, sendo que um óleo com baixa viscosidade tem uma menor dificuldade de fluidez em comparação a um com alta viscosidade, ou seja, viscosidade é a resistência de um fluido ao escoamento. Porém, a viscosidade dos fluidos de resfriamento tem baixa influência na dureza final após o tratamento térmico de aços de médio carbono (SILVA *et al.,* 2016).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Foram analisadas a caracterização química, microestrutural e, por fim, a caracterização da propriedade mecânica de dureza da amostra de aço SAE 1050 como recebido; e após tratamento térmico em sete diferentes fluidos de resfriamento, foram analisadas a propriedade mecânica de dureza e novamente a microestrutura resultante nas sete amostras. Primeiramente, foi analisado o material como recebido, para que fosse possível compará-lo com amostras do mesmo material pós-tratamento térmico de têmpera em diferentes fluidos. Grande parte dos fluidos utilizados não são normalmente usados em processo de resfriamento em indústrias. O intuito foi examinar o efeito que esses fluidos causam na microestrutura e na propriedade mecânica de dureza do material em estudo.

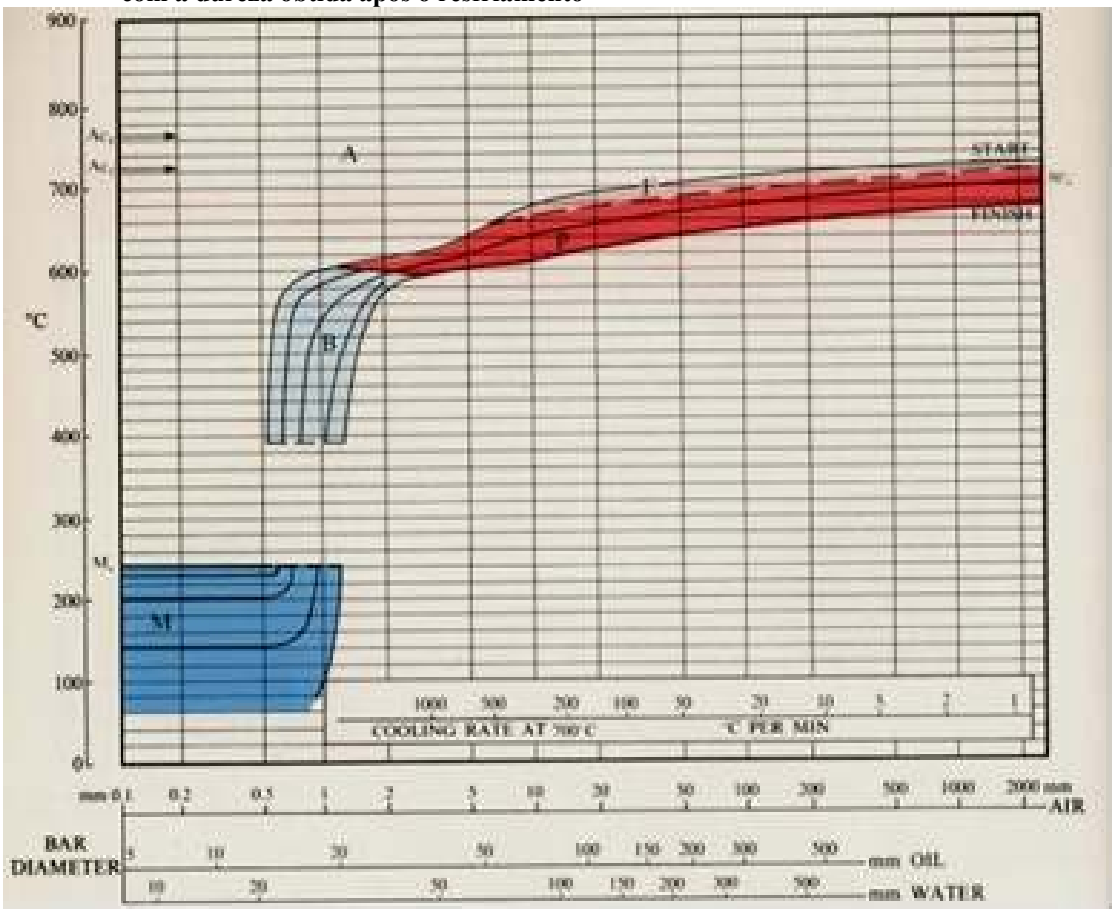
3.1 Material

O aço SAE 1050 foi adquirido por meio de uma empresa revendedora de aços de Sertãozinho-SP, em formato de barra laminada redonda, com comprimento de 500 mm e diâmetro 22,22 mm (7/8’’). Dessa barra, utilizando uma serra policorte foram cortados, transversalmente, oito corpos de prova, medindo 20 mm cada um, nomeados de CP1, CP2, CP3, CP4, CP5, CP6, CP7 e CP8. No corpo de prova CP1, foram realizadas as seguintes análises: análise química, análise metalográfica e dureza. A Figura 1 apresenta a curva CCT para este aço.

3.2 Tratamento térmico

Os corpos de prova CP2, CP3, CP4, CP5, CP6, CP7 e CP8 foram submetidos ao tratamento térmico de têmpera com objetivo de aumentar a dureza (CHIAVERINI, 2008). Para realização do tratamento térmico, foi utilizado um forno elétrico, com controle de temperatura digital. Os corpos de prova citados foram inseridos no forno, quando este já se encontrava aquecido em 340º C de temperatura; os corpos de prova foram mantidos até o forno atingir 850ºC, e mantidas nesta temperatura por uma hora. Logo após a permanência em forno, os sete corpos de prova foram retirados e mergulhados, cada um em um tipo diferente de fluido de resfriamento. O corpo de prova CP2 resfriado em óleo de soja; o CP3, resfriado em óleo mineral SAE 20W30; o CP4, resfriado em óleo mineral ISO 68; o CP5, resfriado em óleo mineral ATF (Automatic Transmission Fluid); o CP6, resfriado em óleo especial para tratamento térmico; o CP7, resfriado em água com gás e o CP8, resfriado em água comum.

Figura 1 - Curva de transformação em resfriamento contínuo do aço 1050, além de uma associação com a dureza obtida após o resfriamento



Fonte: (ATKINS, 1980)

3.3 Fluidos de resfriamento

Foram usados sete tipos de fluidos para o processo de resfriamento dos corpos de prova de aço SAE 1050. Dois litros de cada um dos fluidos foram utilizados no procedimento. Os fluidos utilizados no estudo foram:

- Água mineral gaseificada da fabricante Crystal, com adicionamento industrial de dióxido de carbono em sua fórmula, sendo um fluido de fácil acesso e baixo custo, normalmente utilizado para consumo humano; aquisição em garrafas de 500 ml.
- Água comum potável, retirada diretamente do reservatório do laboratório de tratamento térmico da FATEC-Sertãozinho; trata-se de um fluido com muitos usos, um deles é o de resfriar matérias pós- tratamento térmico, pois caracteriza um rápido resfriamento, aumentando exponencialmente a dureza. (CHIAVERINI, 2008).
- Óleo especial para tratamento térmico KTALO 32AD da fabricante de lubrificantes Cadium. Trata-se de um óleo voltado especificamente para o resfriamento de aços, formulado com óleo básico mineral com compostos antioxidantes e aceleradores da curva de resfriamento, além de aditivos que asseguram um bom desempenho, quando comparado aos óleos minerais puros. Com ponto de fulgor girando em torno de 200ºC, e viscosidade cinemática de 35,0 (m²/s) a 40ºC (CADIUM, 2018).
- Óleo mineral hidráulico LUBRAX ATF TDX da fabricante Petrobras. Com ponto de fulgor de 190ºC e viscosidade cinemática de 36,4 (m²/s) a 40ºC; esse fluido é utilizado na lubrificação de sistemas de transmissão automática de veículos leves e pesados,

para controlar o desgaste e aumentar a vida útil. Sua formulação contém aditivos que lhe garantem ainda baixa oxidação e baixa formação de espuma (PETROBRAS, 2018b).

- Óleo mineral LUBRAX HYDRA ISO 68, também da fabricante Petrobras, que normalmente é empregado em sistemas hidráulicos que operem em condições severas de temperatura e pressão, como em equipamentos de mineração, e máquinas operatrizes; também podendo ser utilizado em sistemas hidráulicos automotivos. Formulado com óleos básicos parafínicos e aditivos, que protegem do desgaste e da corrosão as peças lubrificadas, além de boa resistência à oxidação e à formação de espuma. Dispõe de uma viscosidade cinemática de 64,5 (m²/s) a 40ºC e ponto de fulgor de 250ºC. (PETROBRAS, 2018a).
- Óleo mineral LUBRAX GRANS THF SAE 20W30 da fabricante Petrobras. Essa é uma variedade de óleo lubrificante destinada para transmissões de tratores do tipo *powershift,* sistemas hidráulicos, conversores de torque, entre outros equipamentos agrícolas. Sua fórmula conta com aditivos modificadores de fricção de alta durabilidade e desempenho, proporcionando o funcionamento suave dos equipamentos dessas máquinas; além disso, possui alta resistência à oxidação e cisalhamento. O ponto de fulgor é de 238ºC e viscosidade cinemática de 85 (m²/s) a 40ºC (PETROBRAS, 2018a).
- Óleo de soja da fabricante Soya. O óleo de soja é extraído da semente da soja e, normalmente, é utilizado como fonte de alimento para os humanos; geralmente dispõe de uma viscosidade cinemática de 29,5 (m²/s) a 40ºC e ponto de fulgor de 350ºC (BROCK et al., 2008).

3.4 Ensaios de dureza Rockwell C

Os ensaios de dureza foram realizados utilizando um durômetro analógico Pantec; modelo: Pan 300JW, e seguindo as diretrizes da norma ABNT NBR NM ISO 6508-1 (2008). Foram realizadas cinco penetrações em cada um dos sete corpos de prova temperados, para gerar uma média confiável de dureza pós-tratamento térmico.

3.5 Análise microestrutural

Os sete corpos de prova analisados tiverem suas superfícies lixadas, polidas e, em seguida, atacadas com o reagente químico Nital (2%), próprio para esse tipo de aço. Em seguida, as microestruturas dos corpos de prova foram analisadas, utilizando um microscópio ótico Carl Zeiss modelo AG200.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e as discussões são apresentados nas subseções a seguir.

4.1 Análise química

A análise química realizada no corpo de prova CP1 teve o objetivo de comprovar os elementos químicos e suas proporções presentes no aço SAE 1050 conforme recebido. Os resultados estão dispostos na Tabela 1. O teor de carbono e outros elementos estão de acordo com a norma SAE-J404:1994; dessa forma, verifica-se que realmente se trata de um aço SAE 1050.

Tabela 1 - Composição química do aço SAE 1050

C	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	Si
%	%	%	%	%	%	%	%	%
0,501	0,656	0,0067	0,0211	0,172	0,0812	0,0670	0,0050	0,147

Fonte: os autores (2020)

4.2 Ensaios de dureza Rockwell C

Os resultados dos ensaios de dureza Rockwell C realizados nos corpos de prova que passaram por processo de tratamento térmico estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 Resultados do ensaio de dureza Rockwell C

CP	MODO DE RESFRIMENTO	MEDIDAS					MÉDIA	DESVIO PADRÃO
		1º	2º	3º	4º	5º		
2	Óleo de soja	31,5	30,5	31,5	31,5	31,3	31,2	0,3
3	Óleo mineral SAE 20W30	29	27	27,5	28,5	32,5	28,9	1,9
4	Óleo mineral ISO 68	27,5	28,5	29	25	28	27,6	1,3
5	Óleo mineral ATF	39,5	38	41	41	41	40,1	1,2
6	Óleo especial para tratamento térmico	25,5	28,5	27,5	27	29,5	27,6	1,3
7	Água com gás	50	49,5	50	49	47	49,1	1,1
8	Água comum	54	54	53,5	50	55,5	53,4	1,8

Fonte: os autores (2020)

Como já esperado, por se tratar de um rápido modo de resfriamento, os corpos de prova CP7 e CP8, que foram resfriados em água comum e água com gás, obtiveram os maiores níveis de dureza.

Entre os corpos de prova resfriados em óleos, o que obteve maior nível de dureza foi o corpo de prova CP5, resfriado em óleo mineral ATF. Os resultados desse fluido foram satisfatórios; mas essa variedade de óleo é de alto custo e de baixa acessibilidade; sendo assim, dificilmente seria usado para a finalidade de resfriamento de aços em âmbito industrial.

Os corpos de prova que obtiveram os menores níveis de dureza, dentre os analisados, foram os corpos de prova CP4 e CP6, resfriados em óleo mineral ISO 68 e óleo especial para tratamento térmico, respectivamente. Normalmente, se exige um grau maior de dureza para fabricação de peças equipamentos utilizando aço SAE 1050; logo, essas duas variedades de óleo dificilmente serviriam como modo de resfriamento, em se tratando de fabricação de peças e equipamentos, pois não caracterizaram um nível de dureza adequado.

O corpo de prova CP3, resfriado em óleo mineral SAE 20W30, assim como os anteriores, também não atingiu um grau de dureza satisfatório; além disso, o custo desse tipo de óleo é relativamente alto, tornando inviável sua utilização em âmbito industrial.

O corpo de prova CP2, resfriado em óleo de soja, obteve o segundo maior nível de dureza entre os óleos utilizados. Por conferir uma dureza relativamente satisfatória, e se tratar de um fluido de baixo custo e de fácil acesso, o óleo de soja seria uma boa opção no quesito resfriamento de têmpera para o aço SAE 1050, podendo ser empregado para tal objetivo dentro de indústrias do ramo metalúrgico.

O que poderia explicar essa diferença no resultado do corpo de prova resfriado com o óleo mineral ATF em relação aos outros é que o valor da viscosidade cinemática, que é próxima àquela obtida para o óleo próprio para têmpera ou mesmo algum elemento ou substância da sua composição química, a qual acelera a troca de calor com a peça, resultando num valor maior de dureza quando comparado aos outros óleos testados neste estudo. Um

estudo mais aprofundado sobre a influência da viscosidade e da composição química desse óleo pode ser realizado em trabalhos futuros.

4.3 Análise microestrutural

A Figura 2(a) mostra a microestrutura do corpo de prova CP1, que representa o aço SAE 1050 conforme recebido; contando com uma microestrutura de material normalizado com presença de ferrita e perlita fina – típica de aço hipoeutetóide normalizado. Aproximadamente 50% de perlita e 50% de ferrita.

Observa-se na Figura 2(b) a microestrutura do corpo de prova CP2, que foi resfriado em óleo de soja. Sua microestrutura tornou-se predominantemente perlítica, com presença de ferrita e um pouco de bainita nos contornos de grão.

A Figura 2(c) apresenta a microestrutura do corpo de prova CP3, que foi resfriado em óleo mineral 20W30. A microestrutura tornou-se predominantemente perlítica com presença marcante de bainita nos contornos de grão, além de um pouco de ferrita livre e de contorno.

Observando a Figura 2(d), pode-se ver a microestrutura do corpo de prova CP8 que foi temperada em água comum. Sua microestrutura apresentou majoritariamente martensita na forma de placas.

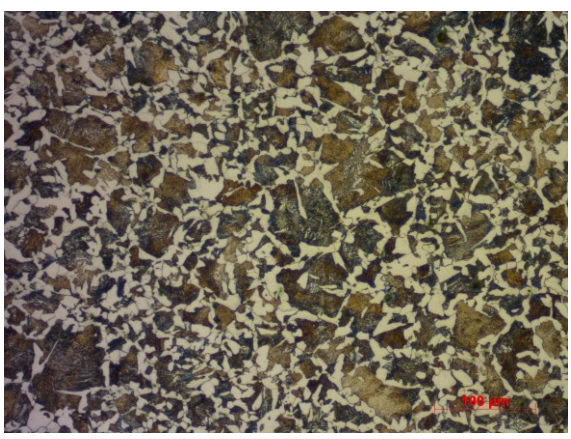
A Figura 2(e) apresenta a microestrutura do corpo de prova CP6, que foi resfriado em óleo especial para tratamento térmico. Sua microestrutura conta com pouca presença de ferrita, e mistura de bainita com perlita. Porém, neste caso, percebe-se a presença maior de bainita em relação às outras micrografias.

Na Figura 2(f), pode-se ver a microestrutura do corpo de prova CP5 que foi resfriado em óleo mineral ATF. Dispõe de uma microestrutura semelhante às outras, com presença de bainita e perlita, e de pouca ferrita livre.

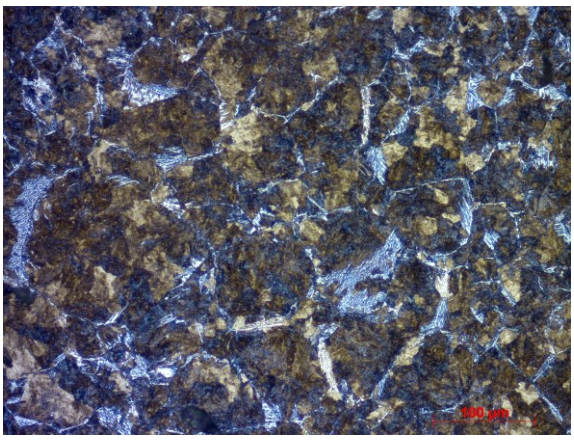
Observando a Figura 2(g), é possível ver a microestrutura do corpo de prova CP7, que foi temperado em água com gás. Sua microestrutura apresenta um misto de perlita, bainita e martensita, na forma de agulhas.

Já na Figura 2(h), pode-se ver a microestrutura do corpo de prova CP4, que foi resfriado em óleo mineral ISO 68, com uma microestrutura semelhante à apresentada no corpo de prova resfriado em água com gás, porém, não é possível constatar a presença das agulhas de martensita; apenas é possível identificar ferrita, perlita e bainita.

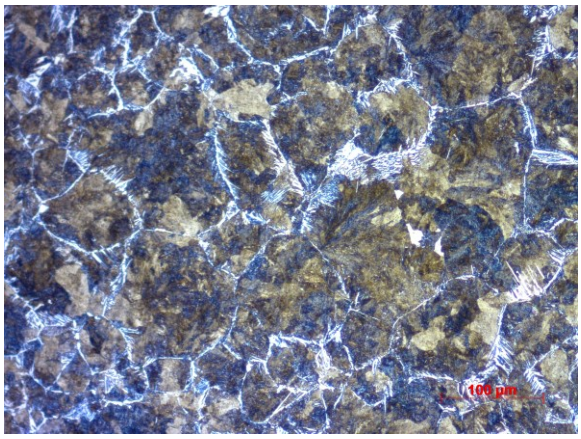
Figura 2 - Microestruturas do aço SAE 1050 na forma como recebido 5(a) e após o tratamento térmico de têmpera do aço SAE 1050; resfriado em: 5(b) óleo de soja; 5(c) óleo mineral 20W30; 5(d) água; 5(e) óleo de têmpera; 5(f) óleo mineral ATF; 5(g) água com gás e 5(h) óleo mineral ISO 68



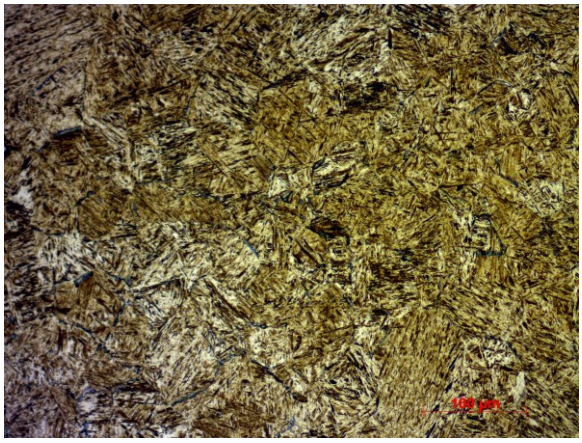
(a)



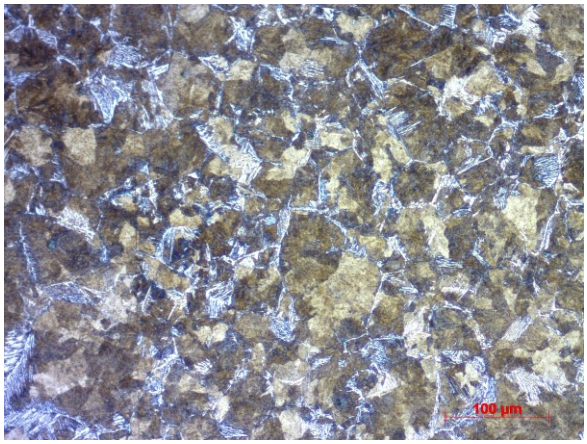
(b)



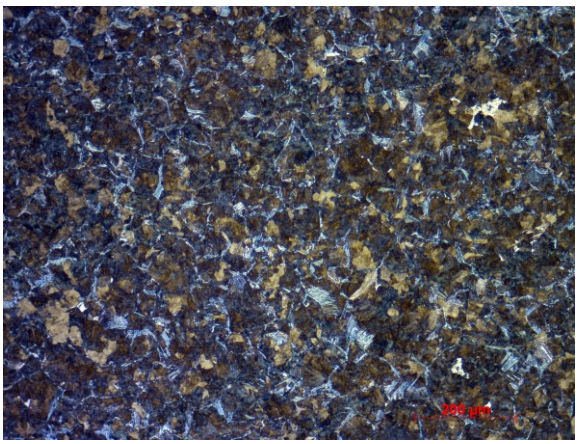
(c)



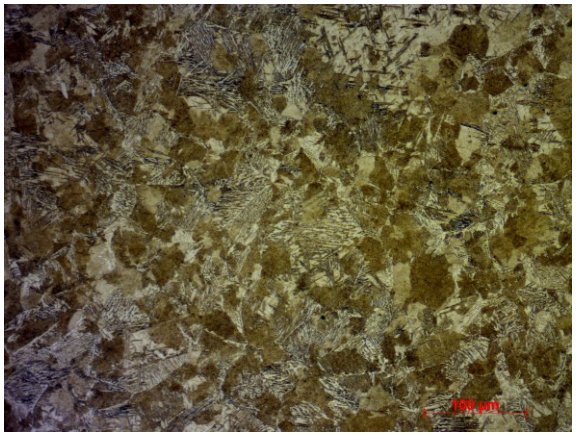
(d)



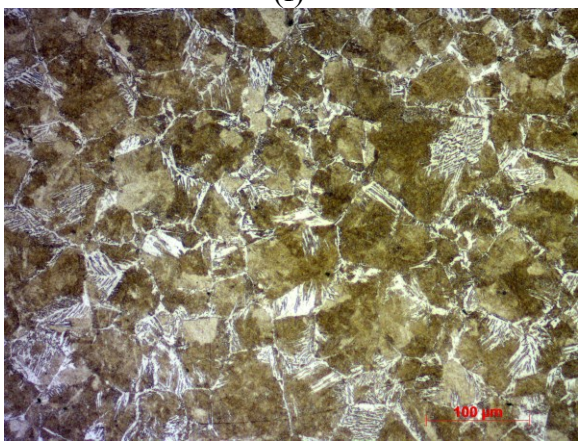
(e)



(f)



(g)



(h)

Fonte: os autores (2020) – imagens obtidas na pesquisa

É possível concluir que as microestruturas obtidas tiveram uma coerência com a literatura estudada e apresentada na curva CCT para esse aço. Em todos os casos de têmpera em óleo, não foi possível obter uma microestrutura predominante de martensita – o que é corroborado pelos valores de dureza encontrados para cada corpo de prova. Porém, nenhuma diferença marcante foi vista entre as peças temperadas com diferentes tipos de óleo, mesmo no óleo mineral ATF, que apresentou um elevado valor de dureza.

Já no caso da têmpera em água comum e água com gás, nota-se a presença majoritária da martensita, com a diferença de que na água com gás, existe menor fração martensítica

devido às bolhas de gás, que atrapalham a intensa troca de calor e retardam o início do resfriamento (quando comparado à tempera em água sem gás).

5 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo apontaram que todos os fluidos de resfriamentos utilizados tiveram êxito em aumentar o nível de dureza do aço SAE 1050, porém, fica claro que, para se obter uma dureza elevada, deve-se temperar em água e não em óleo. Além disso, as microestruturas analisadas após tratamento térmico seguiram um padrão que já era esperado, de acordo com o pesquisado na literatura existente e do uso da curva CCT para esse material, inclusive os valores de dureza obtidos também foram os esperados de acordo com a literatura.

Entre os diferentes fluidos, destacaram-se o óleo mineral ATF e o óleo de soja. O óleo mineral ATF resultou em um elevado valor de dureza – o maior dentre aqueles obtidos para peças temperadas em óleo; já o óleo de soja resultou em um valor de dureza próximo àquele obtido para o óleo de têmpera convencional, porém, com custo muito inferior. Apesar de ambos não terem a finalidade de serem aplicados em tratamentos térmicos, obtiveram-se resultados microestruturais e de dureza satisfatórios, e seriam boas opções para serem utilizados no resfriamento dessa variedade de aço em ambiente industrial. Porém, é importante salientar que o óleo de soja, quando utilizado em grandes quantidades, pode provocar incêndio devido à inflamabilidade que possui.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR NM ISO 6508-1: Materiais metálicos - ensaio de dureza Rockwell Parte 1:** Método de ensaio (escalas A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T), edição 2008.

ATKINS, M. ***Atlas of Continuous Cooling Transformation Diagrams for Engineering Steels.*** 2. ed. Ohio*: American Society for Metals,1980.*

BROCK, J.; NOGUEIRA, M. R.; ZAKRZEVSKI, C.; CORAZZA, F. C.; CORAZZA, M. L; OLIVEIRA, J. V. Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais. **Ciência e Tecnologia dos alimentos.** Campinas, v. 28, n. 3, p.5 – 6, jul/set. 2008.

CADIUM. **Informações técnicas óleo para tempera em aço KTALO 32 AD.** Disponível em: https://www.cadium.com.br/work/oleo-para-tempera-de-aco-ktalo-32ad. Acesso em: 18 de nov. de 2018.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. 4. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2008.

COLPAERT, H. **Metalurgia dos produtos siderúrgicos comuns**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2008.

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. dos. **Ensaios dos Materiais**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2012.

PETROBRAS. **Folheto técnico LUBRAX GRANS THF**. Disponível em: http://www.br.com.br/wcm/connect/b81c48c8-8562-4dbb-aa42-182f864fc042/ft-lub-auto-

agri-grans-thf.pdf?MOD=AJPERES&attachment=true&CACHE=NONE&CONTENTCACHE=NONE.. Acesso em: 18 de nov. de 2018a.

_____ . **Informações técnicas LUBRAX ATF TDX**. Disponível em: http://www.br.com.br/wcm/connect/9918a8cb-8b33-4636-92cc-8d6b3cac7e3e/ft-lub-auto-atf-tdx.pdf?MOD=AJPERES&attachment=true&CACHE=NONE&CONTENTCACHE=NONE. Acesso em: 18 de nov. de 2018b.

SILVA, A. L.; MEI, P. R. **Aços e ligas especiais.** 3. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

SILVA, J. A.; SILVA, E. R. **Influência da viscosidade do óleo na dureza do aço ABNT 1045 tratado por têmpera**. 2016. 12. Trabalho Acadêmico (Graduação em Engenharia Mecânica.) - Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2016.

SILVA, R. A. **Procedimento para tratamento térmico em aço 1050.** 2012. 18. Trabalho acadêmico (Graduação em Tecnologia de Fabricação Mecânica) - Faculdade SENAI de Tecnologia "Félix Guisard", Taubaté, 2012.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEER. ***Chemical Compositions of SAE Alloy Steels,*** *SAE J404, edition 1994.*