

AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO TÉRMICO DE TÊMPERA E REVENIMENTO EM DIFERENTES MEIOS DE RESFRIAMENTO NO AÇO SAE 1045.

NEVES, Jefferson Rodrigues das

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. jefferson_neves1@outlook.com

SILVA, Kaio Vinícios Gonçalves

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. kaiovinicios62@hotmail.com

E SILVA, Mateus Ribeiro Carvalho

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. Mateus.rib52@gmail.com

BRANDÃO, Sérgio Mateus

Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA sergio.brandao@unievangelica.edu.br

RODRIGUES, Rosemberg Fortes Nunes

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. rosemberg.rodrigues@docente.unievangelica.edu.br

Resumo

Os tratamentos térmicos têm o intuito de melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos aços por operações envolvendo aquecimento e resfriamento, dentro de condições controladas de temperatura, tempo, ambiente de aquecimento e velocidade de resfriamento. O presente trabalho tem como objetivo, avaliar a influência dos tratamentos térmicos de têmpera e revenimento realizado em diferentes meios de resfriamento nas propriedades mecânicas do Aço SAE 1045. Foram confeccionadas 49 amostras com dimensões padrão para execução posterior do ensaio Charpy do tipo A, conforme norma ASMT E-23. Posteriormente separou-se 42 amostras, as quais foram divididas e submetidas aos tratamentos de têmpera em água, salmoura e óleo e na sequência revenidas a 450°C. Através dos ensaios mecânicos de impacto e dureza, suas propriedades foram comparadas entre si com as propriedades de 7 amostras não tratadas. Além destes, foram preparadas 1 amostra de cada grupo diferente para execução de micrografia a fim de avaliar a influência nestas dos tratamentos executados. Os resultados dos ensaios mostraram que o aço correspondeu às expectativas sobre suas propriedades, apresentando resultados que evidenciam o aumento e diminuição significativa de dureza quando relacionadas ao meio de resfriamentos. O ensaio de Charpy constatou comportamentos mecânicos distintos para cada tipo de tratamentos, podendo o aço estudado ter várias aplicações. Ressalta-se ainda que os resultados das micrografias correspondentes aos tratamentos térmicos são confirmados as microestruturas esperadas, sendo martensita, perlita, ferrita e austenita retida.

Palavras-Chave: Têmpera, Revenimento, Tenacidade, Dureza, Meios de Resfriamento;

1. Introdução

Ao passar dos anos a busca de produtos mais eficazes e projetos com um custo mais baixo vem gerando uma grande preocupação no mundo atual [1]. Neste cenário o aço constitui uma das matérias primas mais importante para a sociedade atual, devido a sua elevada utilização nos mais diversos segmentos da indústria [2]. A sua versatilidade está inteiramente ligada com as características mecânicas e como elas se alteram de acordo com os tratamentos aplicados. Desta forma, é de fundamental importância conhecer como os tratamentos influenciam nas microestruturas do material [18].

Os tratamentos térmicos são muito utilizados a fim de melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos aços por operações envolvendo aquecimento e resfriamento imediato, dentro de condições controladas de temperatura, tempo, ambiente de aquecimento e velocidade de resfriamento [3]. Na maioria das situações os

tratamentos térmicos são aplicados em ligas Fe-c e em especial ao aço. Neste projeto o aço a ser estudado é SAE 1045, trata-se de um aço de médio teor de carbono, em torno de 0,45% de carbono em sua composição, porta boas propriedades mecânicas, tradicionalmente muito aplicado e de baixo custo [4]. As suas principais aplicações compreendem eixos em geral, pinos, cilindros, parafusos, grampos, braçadeiras, pregos e colunas [5].

Os tratamentos de têmpera, têmpera e revenimento produzem microestruturas de martensita revenida, que proporcionam a melhor combinação de resistência mecânica/dureza e tenacidade. A têmpera consiste em resfriar o aço, após austenitização, a uma velocidade suficientemente rápida para evitar as transformações perlíticas e bainíticas na peça em questão, deste modo, obtém-se a estrutura metaestável martensítica. Enquanto a têmpera consiste em realizar um resfriamento rápido para obtenção de um novo arranjo cristalino, o revenimento do aço SAE 1045 tem como objetivo corrigir as tensões resultante da têmpera sem prejudicar os resultados da mesma, além de auxiliar o material para a dureza desejada, alivia as tensões decorrente da têmpera melhorando a ductilidade e tenacidade do material [3].

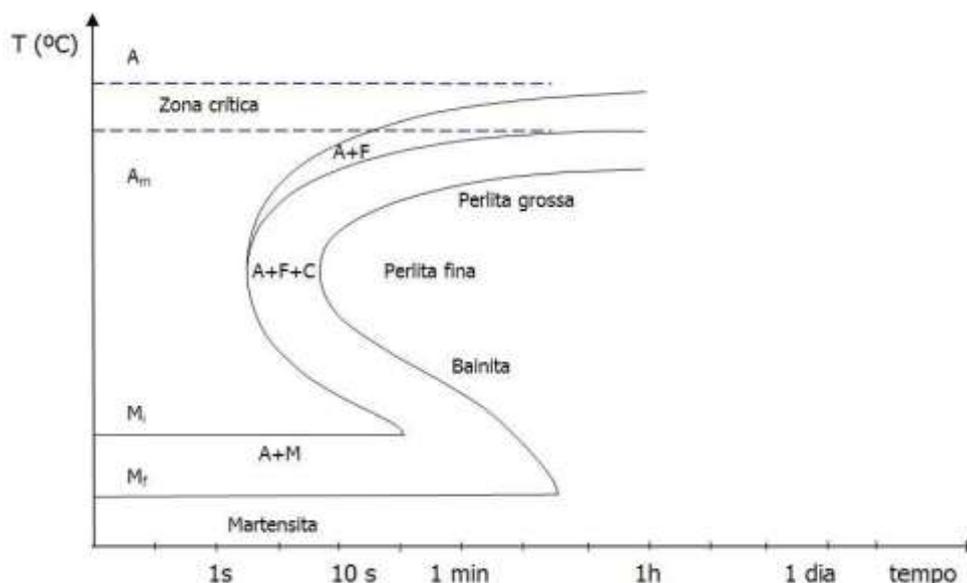
Os tratamentos visam melhorar as propriedades mecânicas do aço, com o intuito de atender as especificações e aplicações necessárias. Para conhecer como essas propriedades se modifica ao decorrer dos tratamentos, e visando contribuir para a literatura, o trabalho abordará os tratamentos térmicos de têmpera e revenimento no aço SAE 1045 pois ele além de ser um aço de boa usinabilidade, sua composição química está entre 0,45% de carbono e até 0,40% de silício possibilitando amplas aplicações [5]. Será determinado, através de metalográficas e micrografias, as microestruturas. Como as propriedades mecânicas estão diretamente ligadas a microestruturas do material, que influencia na dureza, ductilidade, resistência mecânica e tenacidade, para identificar se houveram mudanças nessas propriedades as amostras são submetidas a ensaios mecânicos [16][5].

O presente trabalho teve como objetivo, avaliar a influência dos tratamentos térmicos de têmpera e revenimento realizado em diferentes meios de resfriamento nas propriedades mecânicas do Aço SAE 1045; especialmente aumento de dureza, tenacidade, alívio de tensões e variação da microestrutura.

1.1. Tratamento térmico

A realização dos tratamentos térmicos exige o conhecimento da curva TTT (tempo, temperatura e transformação) do material, que relaciona as principais variáveis deste com o comportamento da microestrutura conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1: Diagrama TTT para o SAE 1045

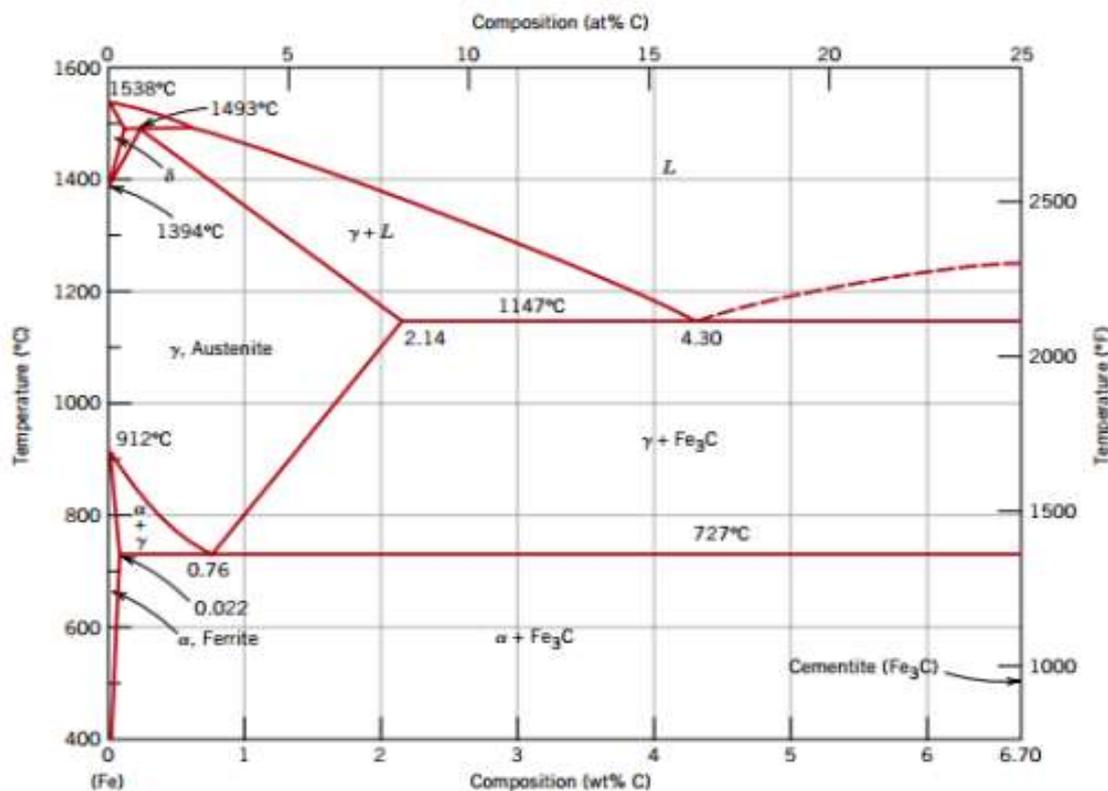


Fonte: [21]

Sendo assim, através dos diagramas TTT é possível representar a dependência da transformação tanto em relação ao tempo como em relação à temperatura. Através das curvas de reações isotérmicas executadas em diferentes temperaturas é possível obter informações importantes, uma vez que as ligas mais relevantes industrialmente são aquelas em que se deseja uma estrutura final metaestável. É a partir destas curvas que se pode estimar o tempo necessário para iniciar e terminar as transformações de fase [3].

Em vista disso, o diagrama Fe-C, mostrado na Figura 2, é uma ferramenta essencial para entender e aplicar os tratamentos térmicos nos aços. As fases presentes no diagrama são a ferrita (α), a ferrita (δ), a austenita (γ) e a cementita (Fe_3C).

Figura 2: Diagrama ferro-Carbono



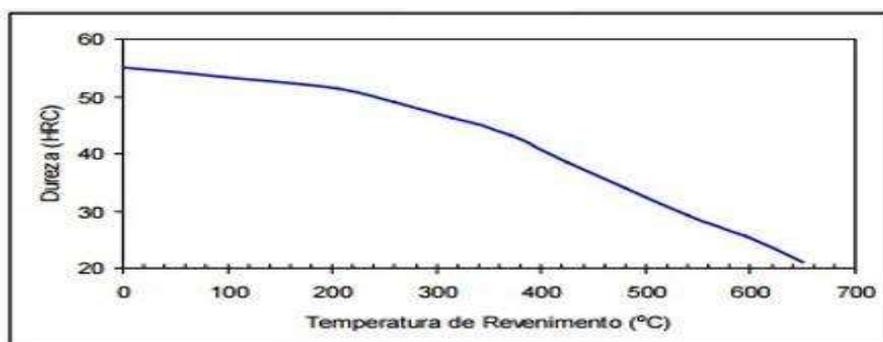
Fonte: [12]

Para ocorrer as transformações de fase, deve-se fazer alterações na temperatura do material, sendo que as temperaturas nas quais ocorrem mudanças de fase são conhecidas como “temperaturas críticas”. Geralmente, nos tratamentos térmicos convencionais é necessário se elevar a temperatura do material até a região no diagrama onde se encontra a fase austenítica e, de acordo com o resfriamento aplicado, pode-se obter diferentes fases e microconstituintes: perlita, bainita, ferrita, grafita, martensita e cementita [4].

O revenimento é realizado imediatamente após a têmpera quando a temperatura dos corpos de prova atinge 70° C. A temperatura de revenimento é selecionada de acordo com a dureza especificada para o aço, conforme demonstra mostrado na Figura 3. As amostras são reaquelcidas e mantidas por, no mínimo,

uma hora para cada 25 mm de espessura das peças. E por fim, as amostras devem ser resfriadas em ar calmo [8].

Figura 3: Curva de Dureza x Temperatura de Revenimento do aço SAE 1045 após Têmpera a partir de 850°C



Fonte: [8]

1.2. Ensaio de Dureza Rockwell

Os ensaios de dureza em Rockwell são baseados na medição da profundidade de um penetrador, para ter um aumento na precisão do ensaio, o procedimento ocorreu na escala C que se trata de um ensaio de dureza Rockwell normal, nela é utilizado uma carga inicial menor, em seguida uma carga principal maior [13]. Geralmente é realizada uma pré-carga de 10 kgf, e na carga maior 60, 100 ou 150 Kgf. Foi realizado cálculo de incerteza para calibrar o durômetro com padrão de dureza 62.1 HRC/FASNE e uma carga de 150 Kgf [13]. Estas escalas não têm relação entre si, então um material ensaiado numa escala só será comparado com outro material da mesma escala [13].

O número de dureza em Rockwell deverá ser apresentado pelo símbolo HR, com um sufixo que indique a escala utilizada. [13]. Para definir a espessura mínima do corpo de prova, é baseado onde o penetrador vai atingir durante o ensaio, o corpo de prova deverá ter uma espessura mínima de 17 vezes a profundidade atingida pelo penetrador [13]. Para obter a medida aproximada da profundidade utiliza-se (P), com o valor obtido da dureza indicado na escala da máquina, utilizando as equações 1 e 2 [13].

Penetrador de diamante conforme:

$$\text{HRnormal: } P = 0,002. (100 - \text{HR}) \quad (1)$$

Penetrador esférico:

$$\text{HRnormal: } P = 0,002. (130 - \text{HR}) \quad (2)$$

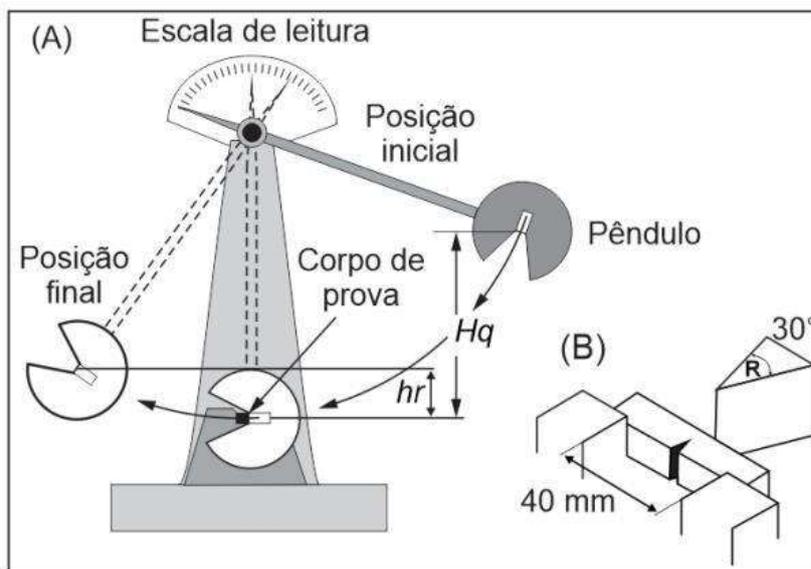
1.3. Ensaio de Charpy

É um ensaio de impacto utilizado na análise de fraturas frágeis nos materiais, nela é permitido analisar a diferenças de comportamento dos materiais que não podem ser observadas em outros ensaios, o

intuito principal do ensaio Charpy consiste em determinar se um material possui ou não uma transição dúctil-frágil, que está relacionada a absorção da energia de impacto do corpo de prova padronizado em determinada temperatura [15]. O Ensaio de charpy tem como principal objetivo no trabalho avaliar a propriedade de tenacidade do material.

O processo consiste na carga de impacto aplicado através de um martelo pendular que é liberado a partir de uma posição inicial (Hq), após a liberação do martelo, sua ponta se choca com o corpo de prova, que funcionará como um concentrador de tensões que movimentará o pêndulo até uma altura (hr) menor que a altura inicial (Hq). A Figura 4 demonstra o equipamento do ensaio de impacto [15].

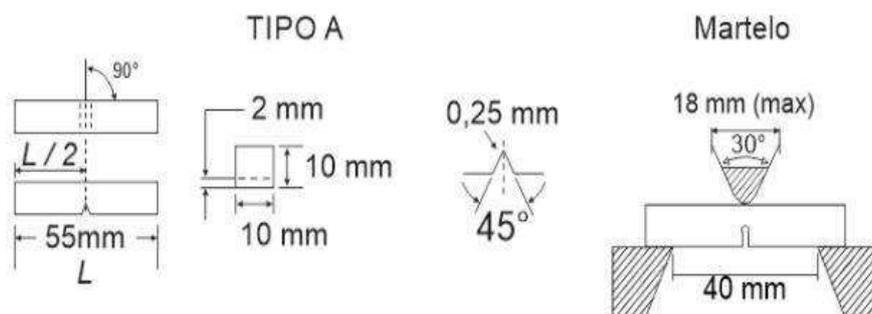
Figura 4: Representação do equipamento de ensaio de impacto



Fonte: [14]

O objetivo dos ensaios é relacionar os resultados com as fraturas ocasionadas na prática, com o intuito de evitar fraturas frágeis no material [15]. Será utilizado no experimento corpos de prova tipo A, padronizados pela norma ASMT E-23, a norma recomenda que a velocidade do martelo no momento do impacto fique entre 5 e 6 m/s. A parte que fará o choque com o corpo de prova é o cutelo, que deve possuir um ângulo de 30° e um raio de curvatura de 2 mm a 2,5 mm. A distância entre apoios é de 40 mm [15].

Figura 5: Corpos de prova Charpy, recomendados pela ASMT E-23 para ensaio de impacto

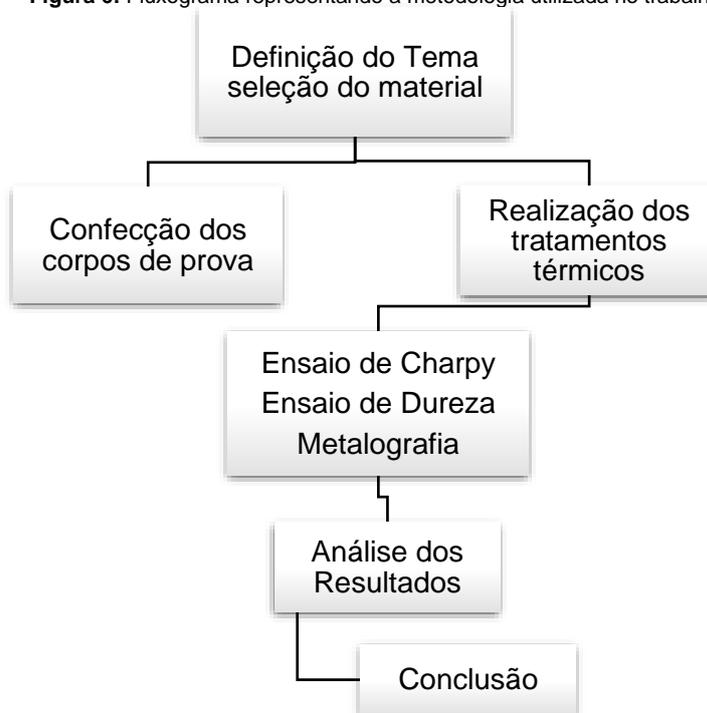


Fonte: [17]

2. Metodologia

As etapas empregadas neste trabalho são apresentadas no fluxograma da figura 6 na qual define os tratamentos térmicos e os ensaios realizados.

Figura 6: Fluxograma representando a metodologia utilizada no trabalho



Fonte: Autor

O material utilizado para o desenvolvimento da pesquisa foram 49 amostras do aço SAE 1045 com dimensões padrões para ensaio de Charpy Tipo A, conforme Figura 5. A Tabela 1 demonstra a distribuição dos tratamentos aplicados em grupos de amostra que foram analisadas posteriormente. A composição química do aço SAE 1045 foi certificada pelo fornecedor, Gerdau S.A e está demonstrada na Tabela 2.

Tabela 1: Grupo de amostras.

Grupo	Tratamento térmico	Nº de Amostras	Temperatura
1	Têmpera em água	7	850 °C
2	Revenida pós Têmpera em água	7	450 °C
3	Têmpera em Salmoura	7	850 °C
4	Revenida Pós Têmpera em Salmoura	7	450 °C
5	Têmpera em óleo	7	850 °C

6	Revenida Pós Têmpera em óleo	7	450 °C
7	Não tratada	7	X

Fonte: [Autor]

Tabela 2: Composição química do aço SAE 1045

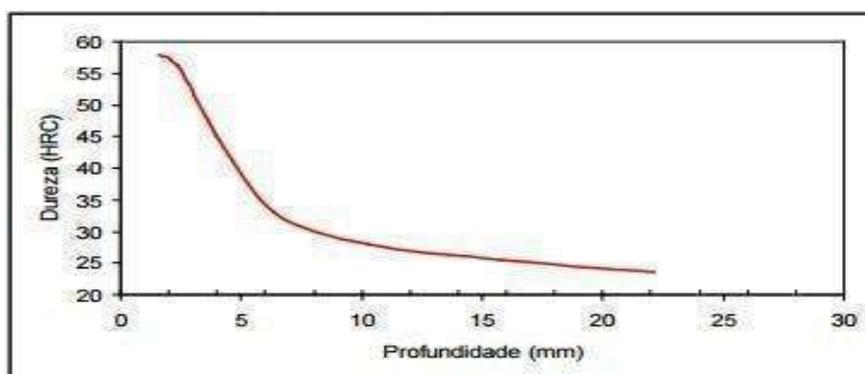
C	Mn	Si	P	S	HB
0,45	0,66	0,22	0,013	0,04	Entre 170 a 210

Fonte: [8]

Os processos experimentais foram realizados no Centro tecnológico da Universidade Evangélica de Goiás - Univangélica. Primeiramente realizou-se o ensaio de dureza no material não tratado termicamente. Em seguida foram realizados os tratamentos térmicos utilizando o forno tipo mufla convencional, modelo IBO 9613 ano 2013 para aquecer as amostras.

Conforme os catálogos de informações a respeito do tratamento de têmpera e revenimento do aço SAE 1045 fornecido pela GGD Metal (2018). A amostra será aquecida a 850° C para obter a inteira austenitização num tempo de uma hora para cada 25 mm de espessura, resfriadas em óleo, água e salmoura. Na Figura 7 mostra-se a curva de temperabilidade do aço SAE 1045 [8].

Figura 7: Curva de Temperabilidade do aço SAE 1045



Fonte: [8]

2.1. Tratamentos térmicos

Os tratamentos térmicos foram realizados no forno Mufla JUNG modelo IBO 9613 para temperatura de até 1300°C. Utilizando 42 corpos de prova tipo A com dimensão padronizados pela norma ASMT E-23, as amostras foram todas aquecidas acima da sua temperatura crítica a 850°, temperatura de austenitização, e mantidas nessa temperatura por duas horas.

Após o tempo de manutenção na temperatura de austenitização, as amostras foram resfriadas nos seguintes meios, 14 em água, 14 óleo mineral sem aditivos, 14 em solução de salmoura com 1.650g sal/ por 11 litros de água. pós os resfriamentos, 7 amostras de cada tipo de têmpera foram revenidas a 450°C, abaixo da sua temperatura crítica, as quais foram mantidas nessa temperatura por duas horas, e por fim, retiradas do forno e resfriadas em ar ambiente.

2.2. Ensaio de Charpy

Para realizar o ensaio de impacto foi utilizado uma máquina convencional de Charpy, testador de impacto modelo Pan 300Jb. Este ensaio foi executado nas 42 amostras tratadas e 7 não tratadas com dimensões 10 mm de diâmetro e 55mm de comprimento, com um entalhe de 2 mm no centro com angulação de 45° conforme a norma ISO. O corpo de prova ficará posicionado no centro com o entalhe virado para o lado oposto ao martelo, que irá descer sobre o corpo de prova aplicando uma força de 150 joules que irá indicar a força do impacto na escala vermelha utilizando o martelo menor. Logo em seguida deverá ser feita uma vistoria dos corpos de prova, onde será analisado se está com ausência de deformação plástica para ser feita a coleta e análise dos dados do material.

2.3. Ensaio de Dureza Rockwell

No ensaio de dureza Rockwell são utilizados penetradores esféricos com ponta de diamante, um durômetro Rockwell normal (HRC-HRB-HRA) Digimess. Utilizando as 49 amostras e executando o ensaio na escala C. No ensaio é utilizado uma pré-carga com um penetrador diamante cônico 120°. Antes do ensaio é realizado cálculo de incerteza para calibrar o durômetro, padrão de dureza 62.1 HRC/FASNE, a faixa de utilização será de 20 a 70 HRC, a carga maior aplicada foi 150 kgf o campo de aplicação é aço, titânio, aços com camada endurecida profunda, materiais com >100, Chapas finas de aço com média cada endurecida. Segue se os seguintes passos, aproxima-se a superfície do corpo de prova do penetrador, submetendo o corpo de prova a uma pré-carga, depois aplica a carga maior até o ponteiro parar, logo após retirar a carga maior e com isso é feita a leitura do valor indicado no mostrador, faz-se a leitura do resultado na cor preta como é da escala C. Destaca ainda que foram realizadas cinco medições em cada amostra, e posteriormente calculado a média e o desvio padrão.

2.4. Metalografia

Com a conclusão dos processos de tratamentos térmicos e ensaios mecânicos, realizaram-se análise metalográfica em uma amostra de cada grupo, preparadas de acordo com a norma NBR 13284. Todas as amostras foram submetidas a lixamentos, com lixas d'água de granulometria de 240, 320, 400, 600, 800, 1200 e 2500 aproximadamente, alterando a direção 90° em cada lixa subsequente, removendo-se os riscos gerados na lixa anterior [4]. Após o lixamento, para garantir uma superfície com a menor interferência dos riscos gerados das lixas, foram realizados o polimento das amostras em politriz rotativa juntamente com alumina de 1 µm e atacadas com Nital 1% [10].

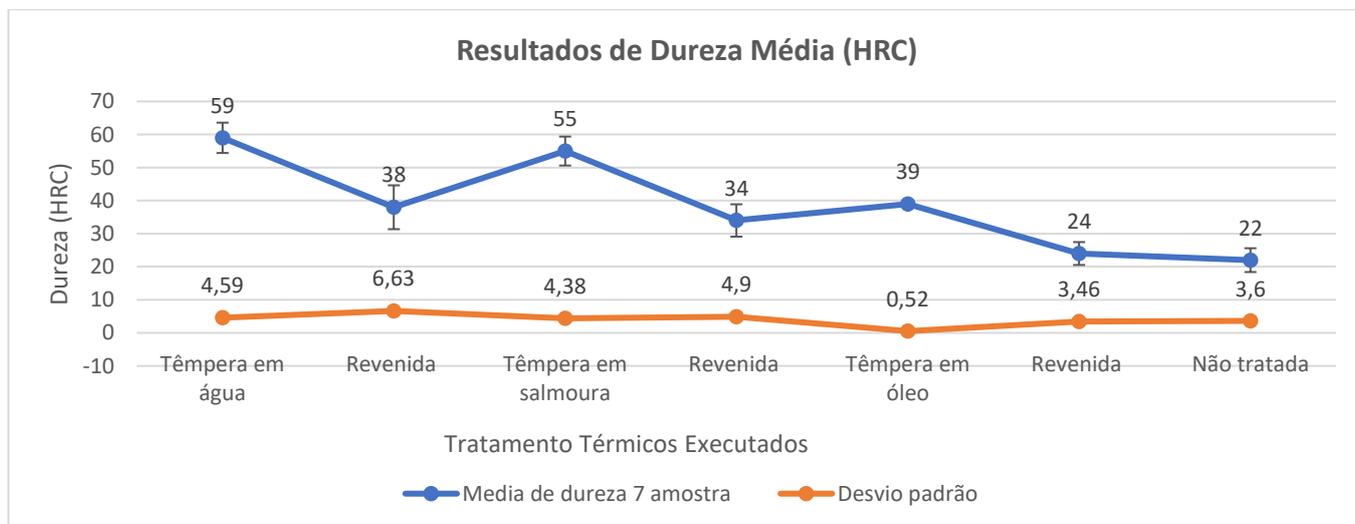
Antes da amostra sofrer o ataque químico, a mesma deve estar perfeitamente limpa e seca, por isso utilizam-se líquidos de baixo ponto de ebulição como o álcool, os quais são posteriormente secados rapidamente através de um jato de ar quente fornecido por um secador. O tempo de ataque químico é de aproximadamente 8 a 10 segundos em cada amostra [9]. Ao realizar o ataque químico as amostras foram submetidas a análise no microscópio eletrônico para identificar as microestruturas presentes. Desejando a melhor compreensão da microestrutura, as amostras são observadas com ampliação de 100 a 250x, com imagens preto e branco ou colorido. Assim é possível identificar as fases presentes na amostra, a granulação, o teor de carbono, bem como algumas inclusões no microscópio [11].

3. Resultados e discussão

3.1. Ensaio de Dureza Rockwell

Como já descrito no trabalho, foram executados dois tipos de tratamentos, cada um utilizando 14 amostras. No gráfico1 foram registrados os resultados das médias de dureza de cada grupo de amostra conforme tratamento realizado e com isso avaliar a efetivamente do tratamento de têmpera e revenimento. Ressalta-se que em cada amostra foi realizada 5 medidas diferentes para se obter a média e o desvio padrão.

Grafico1: Resultado dos ensaios de dureza



Fonte: [Autor]

Na têmpera em água é notável que a dureza é bem alta por volta de 59 HRC deixando o material bastante frágil, já após o revenimento neste grupo de amostras (2) essa dureza diminuiu 35% caindo para 38 HRC, deixando assim o material mais maleável, conforme se esperava para a temperatura de revenimento aplicada [21].

Na têmpera em salmoura sua dureza foi 55 HRC ficou com uma dureza bastante elevada, porém abaixo da dureza da tempera em água, sendo que se esperava é que neste grupo de amostras a dureza deveria ter ficado um pouco mais alta, pois o meio de resfriamento da salmoura é mais severo, favorável fragmentar-se violentamente, causando mais agitação que acaba com o filme de vapor na superfície da peça, o que resulta e velocidades de resfriamento maiores [21]. Com isso o material se torna mais duro e ao mesmo tempo frágil, também é notável que quando fazemos o revenimento a uma determinada temperatura com objetivo de aliviar

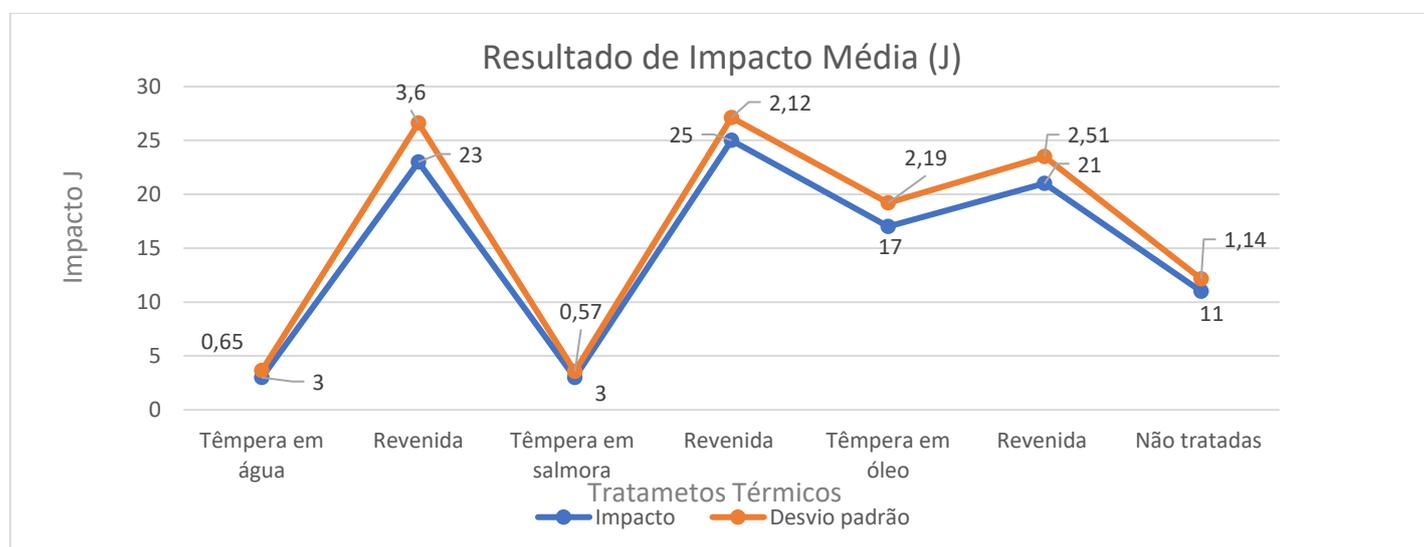
as tensões internas e a formação da martensita revenida.[21]. Avaliando novamente o gradiente de dureza e suas microestruturas a fragilidade diminui aproximadamente 40% e a dureza finalizou com 34 HRC.

Na têmpera em óleo a dureza ficou com média 39 HRC ficando bem tratada, pois a têmpera em óleo tem o método de resfriamento mais lento e devido a elevadas propriedades mecânicas, a conformação obteve efeito.[22] Entrando quando aquecidas no “processo de revenimento” que tem a finalidade de corrigir a dureza excessiva da têmpera, aliviar ou remover as tensões internas, as amostras diminuíram sua dureza em aproximadamente 40% e obteve 24 HRC. Pode ser observado que a metade dos tratamentos teve mudança na sua dureza em relação às amostras não tratadas que ficou com uma dureza de 22 HRC.

3.2. Ensaio de charpy

O gráfico 2 a seguir apresenta a média dos ensaios de impacto, expressando em Joules a tenacidade do material após os tratamentos realizados. Evidencia ainda que cada amostra foi realizada 5 medidas diferentes para se obter a média e o desvio padrão.

Gráfico 2: Média de impacto



Fonte: [Autor]

As amostras temperadas em água e salmora devido a ser os métodos de resfriamento mais brusco romperam com um impacto muito baixo de 3 J, isso confirma que a amostra fica frágil e bastante dura com microestrutura martensita. Quando temperadas em óleo que é o método de resfriamento mais lento e o aço

possui elevadas propriedades mecânicas, se romperam com 19 J, um aumento de aproximadamente 84% comparadas a têmpera de água e salmoura.

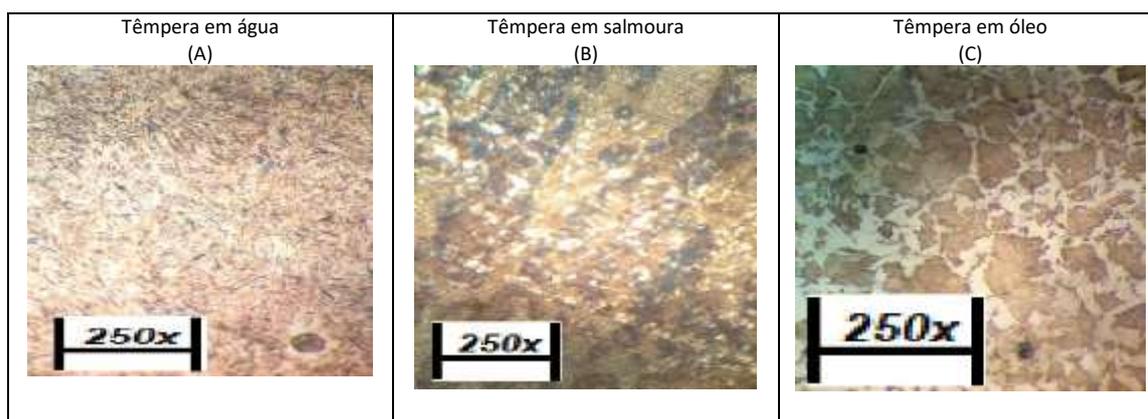
As amostras revenidas em água, óleo e salmoura, comparadas entre si não obteve uma diferença muito elevada, pois os resultados foram salmoura 25 J, a água em segundo com 23 J e em seguida o óleo com 21 J, salmoura devido a ser o método de resfriamento de alta velocidade ficou em primeiro, acompanhado depois pela água e logo após o óleo que é o método mais lento.

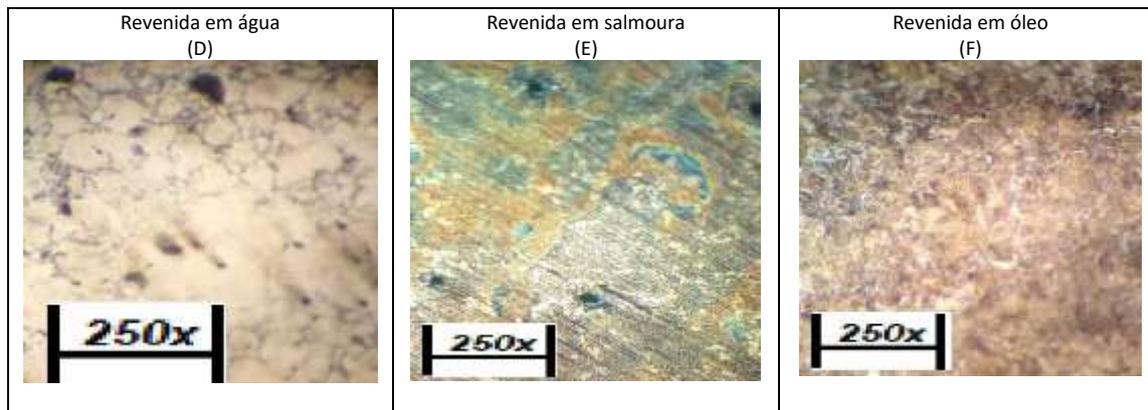
As amostras comparando a deformação de um tratamento para o outro o resultado teve uma mudança bem significativa, as amostras temperadas a água e salmoura se romperam com 3 J. Quando revenidas a capacidade de deformação, de se romperem aumentou para 23 J a água e 25 J a salmoura, um aumento de aproximadamente 88% para ambos com isso é possível observar que o revenimento corrigiu as excessivas dureza e fragilidade do material. A questão da têmpera em óleo por ter o método de resfriamento mais lento e altas propriedades mecânica se rompeu com 19 J, já quando aquecemos “processo de revenimento” essas amostras melhoraram a capacidade de deformação para 21 J, aumento de aproximadamente 10%.

3.3. Resultados da Metalografia

As análises dos resultados e obtidas seguindo o que foi descrito na metodologia do trabalho, 42 amostras passaram pelos tratamentos de têmpera, revenimento sendo resfriadas com água, salmoura e óleo. Através dos ensaios mecânicos de impacto e dureza será comparado às amostras tratadas e não tratadas.

Tabela 3: Resultados da Metalografia





Fonte: [Autor]

Na Imagem (A) pode se notar microestruturas com característica fagulhas de martensita e as partes mais claras de ferrita e grãos escuros podendo ser inclusão causadas por oxidação ou porosidades [17]. Na imagem (B) as microestruturas mais se aproximaram de martensita revenida e porções de ferrita acicular e uns pontos de encruamentos, também pode ter ocorrido formação de perlita onde carece uma análise mais detalhada dessa micrografia [17, 20].

Na imagem (C) é notável microestrutura com característica de ferrita uns pontos de perlita, pode ser notado também austenita [5, 20]. Na imagem (D) as microestruturas têm característica de ferrita e austenita, alguns pontos de encruamento também podem ser notados [5].

Na imagem (E) microestruturas mais se aproximam de ferrita e perlita é um ponto de encruamento [18]. Na imagem (F) podemos observar microestruturas com características de ferrita e perlita, mistura de ferrita com perlita tendo uma maior porcentagem de ferrita [20].

4. Conclusão

A partir dos resultados apresentados pode-se concluir que o aço ensaiado correspondeu aos resultados esperados. Pode se destacar a mudança dos valores de dureza obtidos no ensaio, no que diz respeito ao meio de resfriamento em que cada amostra foi submetida. Podendo confirmar com as bibliografias, quanto mais brusco for o resfriamento, maior será a dureza obtida, destacando a salmoura com resfriamento mais severo em seguida a água. Em relação aos valores menores de dureza concluí se que foi atendida as expectativas de alívio de tensões, aumento da ductilidade, tenacidade, boa resistência à fratura. Ressalta-se que a redução dos valores de dureza foi muito, devido à alta temperatura de revenimento.

Na micrografia, em todas as amostras obteve a microestruturas correspondentes ao tipo de resfriamentos térmico aplicado, pode-se classificar os tipos de microestruturas de acordo com seu meio de resfriamento e cor. Nas imagens pode-se confirmar algumas microestruturas que já era esperado como martensita, ferrita, perlita, é visível também em algumas microestruturas alguns grãos de encruamento.

Nos ensaios mecânicos, pode-se verificar que as amostras tiveram resultados relevantes em relação aos meios de resfriamentos, podendo cada amostra ter diferentes aplicações pelas propriedades obtidas no estudo.

5. Referências

- [1] Oliveira, Claudia, S., & Denti, Guilherme, B. (2007). **Avaliação da tenacidade ao impacto da região revenida pelo passe duplo em soldagem smaw do aço aisi 1045**. فصلنامه پژوهشهای اقتصادی, 3(September).

- [2] Galvão, A. O., Valcacer, S. M., Andrade, S. S. L. De, Felipe, R. C. T. S., & Machado, T. G. (n.d.-a). **Análise do tratamento térmico de Recozimento aplicado ao Aço SAE 1045** 1–4.
- [3] Galvão, A. O., Valcacer, S. M., Andrade, S. S. L. De, Felipe, R. C. T. S., & Machado, T. G. (n.d.-b). **Estudo do Tratamento Térmico sobre a conformação do aço 10451**. 1–4.
- [4] Freitas, B. J. M. (2016). **Estudo Da Influência Das Temperaturas De Austenitização Na Dureza Dos Aços Aisi D6 E Sae 1045**.
- [5] Mori, G. N. De Cesconeti, L. B., & Villela, M. M. (2018). **Análise Das Propriedades Metalográficas Do Aço Sae 1045 Nos Processos Térmicos De Normalização, Revenimento E Têmpera**. 846–856. <https://doi.org/10.5151/1516-392x-31511>.
- [6] GGD METALS. (2015). **Forjamento Tratamento Térmico**. <https://www.ggdmembers.com.br/Wp-Content/Uploads/2015/07/AÇO-1045.Pdf,55458200>. <https://www.ggdmembers.com.br/Wp-Content/Uploads/2015/07/AÇO-1045.Pdf,55458200>.
- [7] GGD Metal. (2018). **Aços construção mecânica**. 1–24. <http://www.ggdmembers.com.br/cat/CatConstrucao.pdf>
- [8] Leonardo, F., Vinci, D. A., Introdução, D., Dos, À. C., Para, M., Bonetti, C., Civil, E., Vargas, E. D. E., Mecânica, E., Henrique, F., Engenharia, K., José, F., Engenharia, K., Acasio, T., & Engenharia, D. (2019). **Metalografia Do Aço Sae 1020**. 3–23.
- [9] Bockor, D. E. (2019). **Comportamento mecânico e microestrutural do ferro fundido nodular quando submetido a diferentes condições de tratamento térmico**. *Ayan*, 8(5), 55.
- [10] Mori, G. N. De, Cesconeti, L. B., & Villela, M. M. (2018). **Análise Das Propriedades Metalográficas Do Aço Sae 1045 Nos Processos Térmicos De Normalização, Revenimento E Têmpera**. 846–856. <https://doi.org/10.5151/1516-392x-31511>
- [11] CALLISTER, J. W. D. (2018). **Ciência e engenharia de materiais 2**. In *Ciência e engenharia de materiais 2*. <https://doi.org/10.22533/at.ed.635183010>.
- [12] BERTOLDI, E.; MARINHO, S.; BRINELL, D. **Análise de ensaios de dureza brinell e rockwell em corpo de prova**. n. 1986, 2006.
- [13] GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime A; SANTOS, Carlos A; **Ensaio de Materiais**. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2012.
- [14] FROM 百度文库. 濟無 No Title No Title. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2013.
- [15] Site da USP - Departamento de Geologia e Metalurgia. (n.d.). **Tratamento Térmico dos Aços: Recozimento, Normalização, Tempera e revenido; Coalescimento**. In *Aços Carbono e Aços-Liga* (pp. 45–58). [http://sites.poli.usp.br/geologiaemetalurgia/Revistas/Edição 11/artigo11.4.pdf](http://sites.poli.usp.br/geologiaemetalurgia/Revistas/Edição%2011/artigo11.4.pdf)
- [16] Souza, A. G. de. (2012). **Estudo Do Efeito Do Processamento Termomecânico Nas Propriedades Mecânicas Do Aço Sae 1045**.
- [17] Silva Junior, R. P. da, Biazotto, G. C., Vatauvuk, J., & Calicchio, L. (2017). **Têmpera De Aço Sae 1045 Utilizando Diferentes Meios De Resfriamento**. 1405–1412. <https://doi.org/10.5151/1516-392x-28088>.
- [18] Favaleza, D., Filho, E. A. S., Prevital, G., Guisso, H., Calixto, J. P., Grippa, J., Angeli, W. de, & Sagratzki, N. L. (2006). **Tratamento térmico: Efeito da velocidade de resfriamento**. *Revista Educação e Tecnologia*, 1(2), 1–8.

- [19] BORN, R. M., & Mattos, C. F. (2018). **Comportamento do Processo de Têmpera no Aço SAE 1045 através do Resfriamento em Óleo com Viscosidades Distintas.** *Revista Dissertar*, 1(30), 207–220. <https://doi.org/10.24119/16760867ed114237>.
- [20] TRATAMENTO TÉRMICO: **Curvas TTT, curvas RC e Temperabilidade.** 1.5. Microsoft® PowerPoint® 2016, abr. 2020. Disponível em: <http://pmt.usp.br/pmt3402/material/Curvas%20TTT,%20curvas%20RC%20e%20Temperabilidade.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2021.
- [21] PUHL, Leonardo Augusto Rodrigues. **Influência dos parâmetros de temperatura e resfriamento de têmpera em aço SAE 4140.** 2017. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Bacharelado em Engenharia Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2017.
- [22] Buerger, G. R.; Domingues, T. G.; José, D. R.; Manske, G. A.; Oliveira, R. D.; Vieira, L. N.2 **ESTUDO DO TRATAMENTO TÉRMICO SOBRE A CONFORMAÇÃO DO AÇO 10451**