

ANÁLISE METALGRÁFICA DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE CEMENTAÇÃO SÓLIDA EM AÇO SAE 1020

GOUVEIA, Caio Vinicius de Oliveira
Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. caio_12_vinicius@hotmail.com

SANTANA, Helber José Cunha
Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. helber_pbs@hotmail.com

RAMOS, Julimar Pereira
Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. julimar_pereira@hotmail.com.br

BENTO, João Alves
Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. joaoabento@hotmail.com

Resumo

Este artigo tem como objetivo buscar e destacar a influência do tempo sobre um aço submetido ao tratamento termoquímico de cementação sólida. O processo de cementação busca aumentar a dureza superficial de um metal, enriquecendo essa superfície com carbono. Neste trabalho, separou-se cinco amostras cilíndricas de aço SAE 1020 (aço com baixo teor de carbono) de mesmas dimensões. Posteriormente, realizou-se o processo de cementação sólida em caixa nas cinco amostras, variando-se apenas o tempo de permanência de cada amostra no processo. Com as amostras já tratadas, iniciou-se o processo de preparação dessas amostras tanto para análise de dureza *Rockwell*, quanto para a análise metalográfica. Por fim, com o ensaio de dureza *Rockwell*, ficou evidente o aumento de dureza superficial em cada amostra e, pela análise metalográfica, o enriquecimento superficial de carbono.

Palavras-Chave: cementação; dureza *Rockwell*; tempo; metalografia; aço SAE 1020;

1. Introdução

O aço é um material do tipo liga metálica (ferro e carbono) atualmente presente na maioria dos diversos tipos de projetos. Sua flexibilidade e versatilidade de aplicação é de relevante importância tanto para fatores econômicos quanto para seu estudo e produção. Este aço é aplicado no setor automobilístico, industrial e civil.

Em meio aos diferentes tipos de aço, há o aço carbono de liga metálica SAE 1020. Este tipo de aço pode ser aplicado de diversas formas com cementação com excelente relação custo benefício comparado com aços utilizados para o mesmo propósito. O mesmo é utilizado em produtos como parafusos, trefilados duros, engrenagens, virabrequins, catracas, discos de roda, pregos, eixos, chapas automobilísticas, entre outros. [1]

Os materiais metálicos encontrados na indústria, em sua maioria, antes de se tornar produto final, foram submetidos a diversos tratamentos termoquímicos, que são procedimentos capazes de modificar a estrutura de um material [2]. Dos diversos tratamentos termoquímicos existentes, a cementação, pode ser realizada por quatro meios diferentes, são eles: gasoso, líquido, sólido ou plasma [3]. Segundo Costa e Silva [3], “o potencial químico do carbono, no meio de cementação, definirá o potencial máximo de carbono que o aço poderá atingir e, portanto, o teor de carbono na superfície da peça”.

O processo de cementação é um método antigo de endurecimento superficial. Ele basicamente consiste em enriquecer com carbono a superfície de um material aquecido em contato com uma substância rica em carbono (carbonáceas). Desta forma, com esse contato, o material obtém uma superfície mais dura [4]. O processo deve acontecer em temperaturas que facilitem a solução do carbono no ferro, a esse respeito, Chiaverini [4] explica que essa temperatura deve ser superior à da zona crítica, que varia entre 850°C a 950°C, e ressalta que a temperatura e o tempo estão diretamente ligados a profundidade de penetração do carbono no metal tratado, sendo essa penetração inicialmente rápida e depois decrescente.

Para que se realize o estudo, foi utilizada a técnica da metalografia, que consiste em mostrar a morfologia e estrutura dos metais [3]. Segundo Costa e Silva [3], a microscopia ótica é a técnica de observação de microestruturas dos aços e ferros fundidos mais comuns. A mesma utiliza luz visível que incide sobre o material e é refletida até o observador.

Para Rohde [5], o ensaio metalográfico visa relacionar a estrutura inerente de um material com as suas propriedades físicas e mecânicas, com o seu desempenho e outros.

Segundo Callister [6] “[...] a dureza, é uma medida da resistência de um material a uma deformação plástica localizada (por exemplo, uma pequena indentação ou um risco) [...] quanto mais macio for o material, maior e mais profunda será a indentação, e menor será o número-índice de dureza”. Geralmente, o ensaio de dureza *Rockwell* é o método utilizado para medir a dureza de um material, devido sua simples execução. E

ainda segundo o autor, “[...] várias escalas diferentes podem ser aplicadas a partir de combinações possíveis de vários indutores e diferentes cargas, que permitem o ensaio de praticamente todas as ligas metálicas”. O método de dureza *Rockwell* é representado pelo símbolo *HR* (*Hardness Rockwell*) e quando seguido de uma letra, esta letra indica a escala que foi empregada, “C” indica ensaio de dureza normal (máquina padrão).

O objetivo deste trabalho é analisar por meio da metalografia e ensaio de dureza *Rockwell*, as propriedades mecânicas e químicas do aço SAE 1020 após tratamento termoquímico de cementação sólida, relacionando os dois métodos com a penetração de carbono e o tempo. Dessa forma serão realizadas as seguintes etapas: i) tratamento termoquímico de cementação sólida no aço SAE 1020; ii) analisar a dureza *Rockwell* do material tratado; iii) metalografia da difusão do carbono no aço; iv) interpretação e descrição, a partir dos dados coletados.

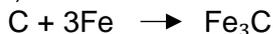
2. Tratamento Termoquímico

Segundo Costa e Silva & Mei [7], “Tratamentos termoquímicos são processos que visam à adição, por difusão, de elementos químicos (carbono, nitrogênio e boro, entre outros) na superfície do aço”. Como a difusão (enriquecimento superficial) desses elementos é feita em temperaturas (aquecimento) do aço entre 300°C e 1200°C, o tratamento é denominado termoquímico. [7]

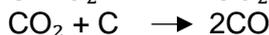
2.1. Cementação

O processo de cementação em si, traduz-se na introdução de carbono na superfície do aço, ao mesmo tempo que este, depois de temperado, obtém uma superfície mais dura [7]. Costa e Silva & Mei [7], explicam que “Para se produzir uma combinação de uma superfície dura com núcleo tenaz, deve-se partir de um aço com baixo carbono ($C < 0,30\%$) e aquecê-lo, geralmente, entre 815 e 950 °C”.

De acordo com Chiaverini [8], o carbono é o elemento fundamental na cementação. Os aços a serem cementados devem possuir baixo teor de carbono, desta forma, quando aquecidos a elevadas temperaturas de austenitização, na presença de um meio carbonetante, o carbono desse meio reage com o ferro do aço, de acordo com a seguinte reação:



Chiaverini [8] explica que, “Desse modo, a superfície do aço fica enriquecida de carbono, até profundidade que pode ser perfeitamente preestabelecida, permitindo, assim, a sua têmpera posterior, para aumento superficial da dureza e da resistência ao desgaste”. Para o autor, “Na realidade, o agente carbonetante é o gás CO, pois às temperaturas de operação, verificam-se as seguintes reações: ”



2.1.1. Difusão Superficial de Carbono

Por meio de tratamento termoquímico, busca-se o endurecimento superficial do aço, porém esse endurecimento não é resultado da transformação da austenita em martensita, mas do meio onde esse aço é tratado. Neste, ocorre uma difusão (reações químicas) entre os elementos desse meio e os elementos do aço. [8]

Costa e Silva [3], explica que o processo de difusão do carbono no aço e o meio em que o aço é carbonetado, são dois importantes aspectos que influenciam no processo de entrada de carbono no aço. A difusão consiste na migração dos átomos de uma posição para outra na rede cristalina. “De fato, os átomos nos materiais sólidos estão em constante movimento, mudando rapidamente de posições”. [6]

Callister [6], também explica que:

A difusão é um *processo dependente do tempo* — ou seja, em um sentido macroscópico, a quantidade de um elemento que é transportado no interior de outro elemento é uma função do tempo. É sempre necessário saber o quão rápido ocorre a difusão, ou seja, a *taxa da transferência de massa*. Essa taxa é normalmente expressa como um **fluxo difusional** (J), que é definido como a massa (ou, de forma equivalente, o número de átomos) M que se difunde através e perpendicularmente a uma seção transversal de área unitária do sólido, por unidade de tempo. Matematicamente, isso pode ser representado como: $J = \frac{M}{At}$, em que A é a área através da qual a difusão está ocorrendo, e t é o tempo de difusão decorrido. As unidades para J são quilogramas ou átomos por metro quadrado por segundo ($kg/m^2 \cdot s$ ou $átomos/m^2 \cdot s$). [6]

2.1.2. Cementação Sólida (ou em caixa)

Segundo Costa e Silva & Mei [7], no processo de cementação sólida, as peças de aço são colocadas em caixas metálicas, onde é adicionado carbonizantes ricos em carbono, como o carvão de madeira ou coque. Esses carbonizantes também são constituídos de, em média, 60% bário com outros carbonatos, como cálcio, potássio e sódio, além de óleo ligante ou alcatrão. “O carvão de madeira é mais reativo que o coque, entretanto, o coque oferece maior resistência mecânica a quente” [7].

Geralmente, a cementação sólida é realizada entre temperaturas de 850°C a 950°C. Entretanto, recentemente novas técnicas têm permitido elevar essa temperatura para além de 1000°C, sem criar problemas em relação ao crescimento de grão, em vista do tempo mais curto, à temperatura e aos tipos de aços. [4]

Na cementação sólida, é possível atingir profundidade de cementação de até 2mm ou mais e, devido às dificuldades de controle da ocorrência do processo, não se deve cementar abaixo de 0,635 mm. [4]

2.1.3. Profundidade da Camada Cementada

Ainda na cementação sólida, a profundidade da camada cementada pode variar de 0,6 a 6,9 mm, dependendo do tempo e temperatura empregados. Essa profundidade é medida por meio da dureza. Costa e Silva & Mei [7], explicam que se considera “camada cementada efetiva” a região superficial com dureza maior que 50 HRC e, que existe ainda, a “camada cementada total”, que é a região superficial onde houve aumento de teor de carbono. “A profundidade cementada depende do tempo de processamento, naturalmente”. [3]

3. Metodologia

3.1. Materiais

Para a realização deste trabalho foi selecionada uma barra cilíndrica de aço SAE 1020, com 5 metros de comprimento e diâmetro de 1 pol (25,4 mm). Para o corte da barra foi utilizada uma serra de fita horizontal da marca Ronemak, modelo SR-250 VF. Como recipiente, foi utilizado um cadinho. Como material cementante, foi utilizado 1,5 kg de pó de cementação da marca Diamantina. Para a têmpera utilizou-se 2 litros de óleo queimado. Para o lixamento, foram utilizados seis tipos de lixas d’água da marca 3M, com as seguintes granulometrias: 240, 320, 400, 600, 1200 e 2500. No polimento, utilizou-se 3 litros de alumina em suspensão como material abrasivo, da marca Skill-tec, e cada litro com sua respectiva micragem: 1 µm, 0,3 µm e 0,05 µm. Para o ataque químico foi utilizado Nital concentrado em 3% e álcool hospitalar.

Para a realização da cementação sólida, do revenimento, do corte, do lixamento, do polimento, da análise micrográfica e do ensaio de dureza foram utilizados respectivamente: um forno da marca Jung, modelo TB9613, número 7809, ano 2013, com capacidade de 1300 °C, disponível no Laboratório de Veículos - CT 111 do Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA; uma cortadeira de amostras metalográficas da marca Pantec, modelo Pancut 100; duas politriz/lixadeiras para metalografia, da marca Pantec, modelo Polipan 2D com dois pratos; um aparelho microscópio, da marca Pantec; e um durômetro, da marca Digimess, disponíveis no Laboratório de Materiais e Ensaios Mecânicos - CT 112 do Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA.

3.1. Métodos

Como a barra metálica de aço SAE 1020 apresentava um comprimento muito elevado, foram cortadas, transversalmente, seis amostras. Cada uma delas com 100 mm de comprimento. Para efeito de comparação, dentre as seis, uma foi excluída do processo de cementação, para retornar somente na metalografia.

O procedimento utilizado para a cementação e para a metalografia seguiu, respectivamente, os métodos apresentados pelos autores Chiaverini [8] e Rohde [5]. As cinco partes restantes foram colocadas, todas ao mesmo tempo, dentro do cadinho e foram encobertas pelo material cementante. Assim, o cadinho foi colocado no forno à uma temperatura de 950 °C. A cada 1 hora, uma amostra foi sendo retirada e temperada em óleo queimado. Então, a última amostra foi retirada e temperada após 5 horas dentro do forno. Em seguida, foi removido o excesso de pó presente em cada peça. Então foi feito o revenimento, onde todas as amostras cementadas foram colocadas dentro do forno e aquecidas à uma temperatura de 350°C durante um período de 3 horas. Após aquecidas, elas foram resfriadas à temperatura ambiente.

Todos as peças, incluindo a amostra excluída da cementação, foram cortadas transversalmente em cinco partes através do corte metalográfico, resultando em trinta corpos de prova. Ao passarem pela serra da máquina de corte metalográfico, as peças apresentaram ranhuras em suas superfícies, as quais poderiam interferir visualmente na análise micrográfica. Visando o que foi dito anteriormente, a partir do próximo passo,

o restante da metalografia, com exceção da análise de dureza, foi realizada com extremo cuidado, a fim de evitar possíveis novos riscos ou manchas nas peças.

O início do lixamento ocorreu com a máquina politriz/lixadeira sendo ativada. A velocidade escolhida para o giro dos pratos foi de 300 rpm. Então, abriu-se a vazão d'água sobre o processo de lixamento, para evitar o superaquecimento da amostra. A face arranhada da peça, foi posicionada levemente sobre a lixa, que estava devidamente acoplada em um dos pratos da máquina politriz/lixadeira. Assim, a amostra foi lixada. Depois que a utilização da lixa chegou ao fim, tornou-se necessário utilizar a próxima. Só foi possível usar a lixa seguinte, após, no corpo de prova lixado, sobrar somente os riscos provenientes da última. Para isso, foram utilizadas, sequencialmente, seis lixas d'água, na seguinte ordem granulométrica: 240, 320, 400, 600, 1200 e 2500 mesh. Neste caso, o lixamento foi iniciado com a lixa de 240 mesh e finalizado com a de 2500 mesh. Todas as vezes em que houve a troca para a próxima lixa, a peça foi girada em 90°. Esse processo foi realizado igualmente em todos os corpos de prova. Terminado o lixamento, foi executado o polimento.

Para o início do polimento, a máquina politriz/lixadeira foi ativada. A velocidade escolhida para o giro dos pratos foi de 600 rpm. Então, posicionou-se a face arranhada da amostra sobre o pano de polir, que estava devidamente molhado com material abrasivo e acoplado em um dos pratos da máquina politriz/lixadeira. Assim, a peça foi polida. Depois que a utilização do pano chegou ao fim, foi necessário usar o próximo. Foram usados, sequencialmente, três panos. O primeiro pano, foi molhado com o material abrasivo de 1 μm ; o segundo, com o material abrasivo de 0,3 μm e o terceiro, com o material abrasivo de 0,05 μm . Só foi possível usar o pano seguinte, após, na amostra que foi polida, sobrar apenas as marcas provenientes do último. Para evitar que mais ranhuras aparecessem na peça, durante o polimento, mais material abrasivo foi sendo vazado sobre seu respectivo pano. Dessa forma, a amostra foi polida pano por pano. Esse processo foi realizado igualmente em todos os corpos de prova. Finalizado o polimento, foi realizado o ataque químico.

Para o próximo passo, o corpo de prova foi limpo rigorosamente com álcool hospitalar. Em seguida foi feito o ataque químico, onde o Nital foi colocado, por 10 segundos, em contato com a superfície da amostra, em uma quantidade que ocupou a área total da superfície. Após realizado o ataque químico, limpou-se rigorosamente, com álcool hospitalar, a região atacada, então, foi utilizado ar quente, proveniente de um secador, para secar o corpo de prova. Com a região a ser analisada totalmente limpa, foi possível realizar a análise micrográfica da superfície atacada quimicamente. O ataque químico e a metalografia, foram realizados igualmente em todos os corpos de prova. O experimento chegou ao fim com a análise de dureza longitudinal e transversal em todas as amostras.

4. Resultados e discussão

Inicialmente, com as medições das amostras do aço SAE 1020, foi obtida a média de dureza de 16 *HRC* em sua posição longitudinal. Após a realização do experimento, de acordo com a Tabela 1, ficou evidenciado o aumento de dureza nas amostras, onde o tempo de permanência no processo de cementação foi a variável.

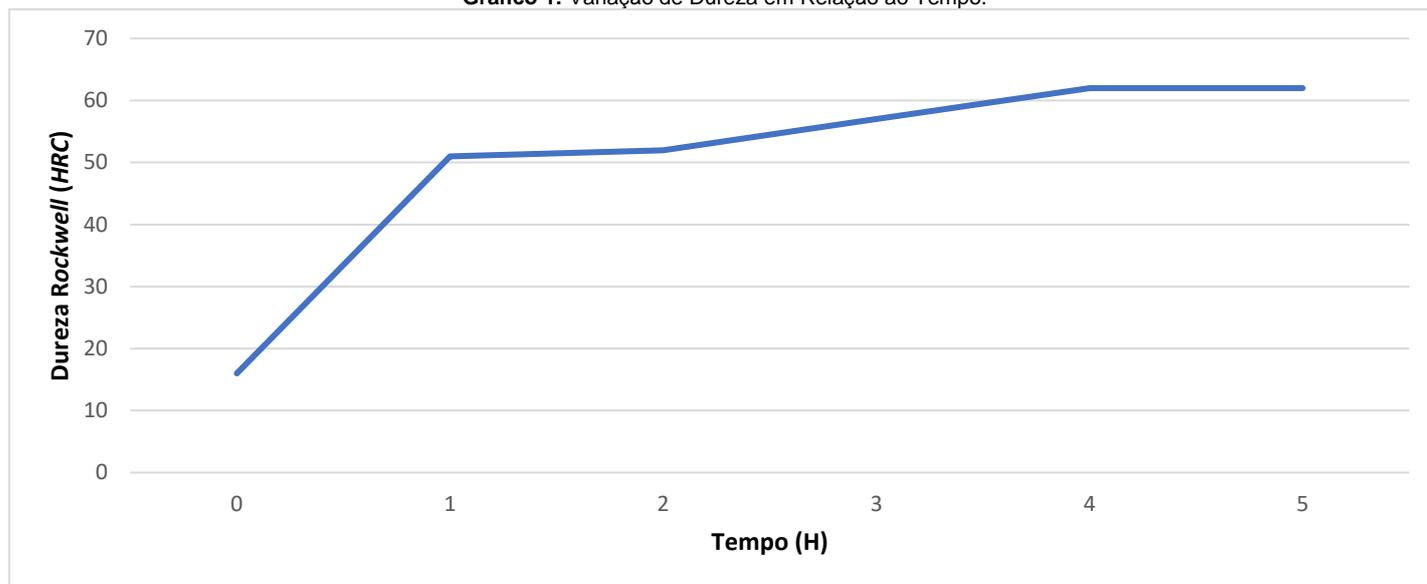
Tabela 1 – Medidas de Dureza longitudinal de cada Amostra.

Aço	Amostras	Tempo (horas)	Dureza Rockwell (<i>HRC</i>)
SAE 1020	0	0	16
	1	1	51
	2	2	52
	3	3	57
	4	4	62
	5	5	62

Fonte – Os Autores.

A evolução da dureza longitudinal é mostrada no Gráfico 1, onde seu início parte da amostra 0 que não recebeu tratamento. Assim fica evidenciado a evolução da dureza no aço com a aplicação do processo de cementação sólida, atingindo o patamar de 62 *HRC* com 5 horas de tratamento e uma eficiência de 74,19%.

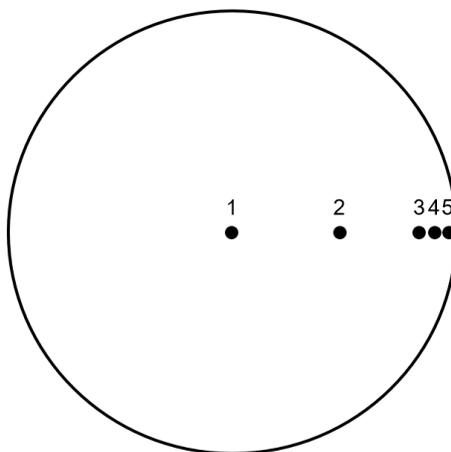
Gráfico 1: Variação de Dureza em Relação ao Tempo.



Fonte – Os Autores.

Para a coleta de dados da seção transversal foram escolhidos 5 pontos conforme a Figura 1, aqui os pontos têm a função de mostrar a média de dureza e o aspecto metalográfico naquela região, para que posteriormente esses pontos possam ser analisados e comparados. O ponto 1 tem a função de revelar que o centro da amostra continua dúctil e tenaz, sem rastros de difusão, já o ponto 2 que é a média do centro com a extremidade (ponto 1 e 5, respectivamente), tem a função de demonstrar um núcleo sem alteração, já os pontos 3, 4 e 5 tem a função de mostrar o mapeamento da difusão do carbono na extremidade das amostras, sendo assim revelada a camada cementada.

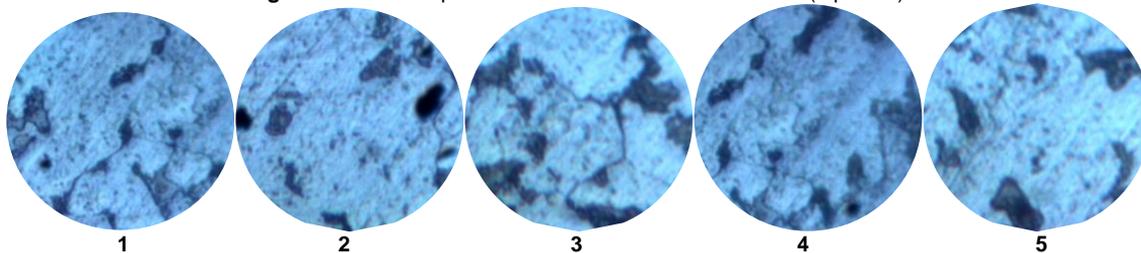
Figura 1 – Organização dos Cinco Pontos para a Análise.



Fonte – Os Autores.

Todas as imagens metalográficas abaixo seguem as disposições de pontos da Figura 1, demonstrando o contorno e a difusão do carbono no aço SAE 1020. Além disso, nas imagens, as partes que apresentam coloração clara são definidas como ferrita e as de coloração escura como perlita que é onde se concentra a dureza. Inicialmente, na Figura 2, temos a imagem dos pontos da amostra 0, esta amostra não passou por nenhum tipo de tratamento termoquímico. Nela podemos perceber claramente os contornos de grãos definidos. A amostra apresenta uma média de dureza de 16 HRC.

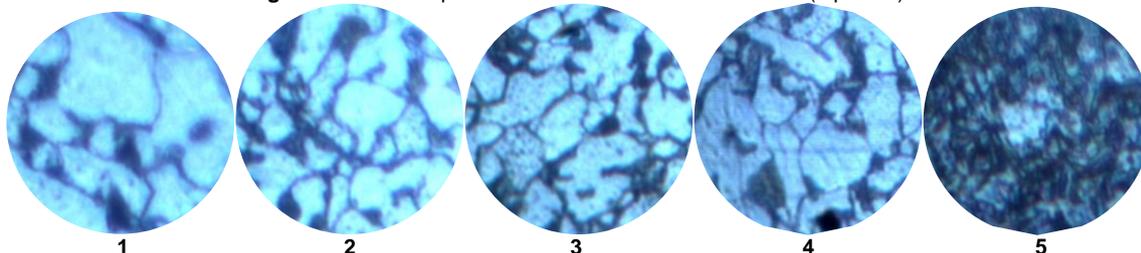
Figura 2 – Microscopia da Amostra 0 na Área Transversal (5 pontos).



Fonte – Os Autores.

Na Figura 3, percebe-se um contorno de grãos diferente, tal contorno se deve ao processo de têmpera e revenimento, os grãos aqui não estão completamente definidos e apresentam contornos menores. A amostra 1 permaneceu no processo de cementação por 1 hora e obteve um ganho de 68,62% de dureza no ponto 5. Apenas o ponto 5 mostrou a difusão de carbono.

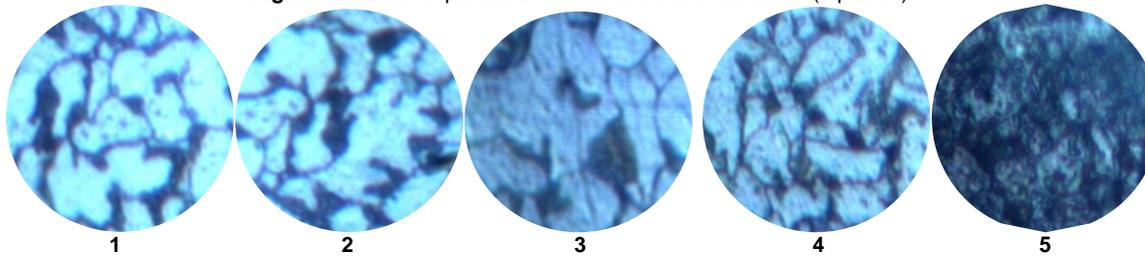
Figura 3 – Microscopia da Amostra 1 na Área Transversal (5 pontos).



Fonte – Os Autores.

A amostra 2 (Figura 4) que ficou 2 horas na cementação, elevou a dureza da camada cementada em 1,92% em relação a amostra 1 (Figura 3), atingindo 52 HRC no ponto 5, mantendo os contornos de grãos obtidos após a tempera e o revenimento. Nesta amostra, o ponto 4 mostra ganhos de 4 HRC em relação ao ponto 4 da amostra anterior, devido a tempera, mas não sofre a influência do carbono externo (material carbonizante).

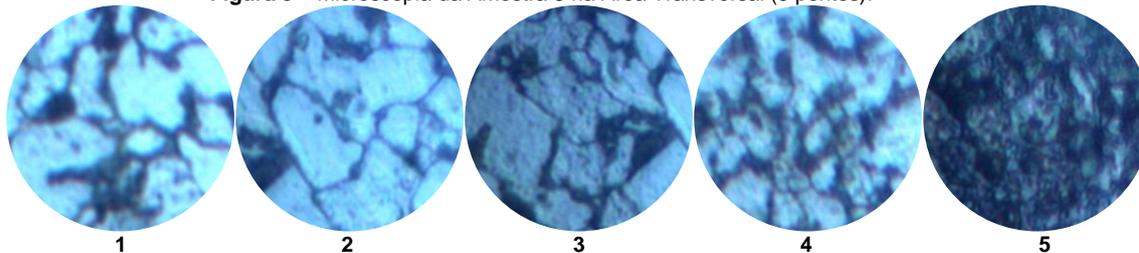
Figura 4 – Microscopia da Amostra 2 na Área Transversal (5 pontos).



Fonte – Os Autores.

A Figura 5 contém as imagens da amostra 3, que permaneceu 3 horas no tratamento termoquímico, o que elevou sua concentração de carbono a 57 HRC no ponto 5. Contudo, o que chama atenção é a propagação de carbono que elevou em 9 HRC a dureza do ponto 4 desta amostra em relação ao ponto 4 da amostra anterior (Figura 4), mas ainda assim o ponto 4 não é considerado como camada cementada, pois para que isso ocorra deve-se atingir no mínimo 50 HRC.

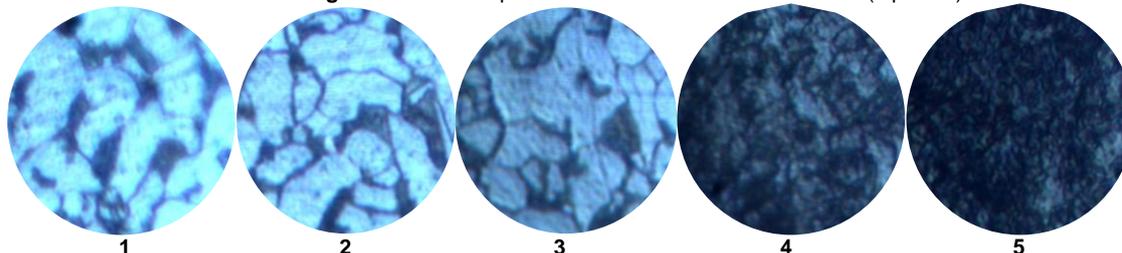
Figura 5 – Microscopia da Amostra 3 na Área Transversal (5 pontos).



Fonte – Os Autores.

Analisando a amostra 4 da Figura 6, fica evidenciado a evolução que se obteve na difusão do carbono, pois aqui já é perceptível a elevada concentração de carbono no ponto 5, que devido ao tempo e a temperatura acarretou a migração de carbono do ponto 4 para o ponto 3 e a saturação no ponto 5. A amostra 4 permaneceu 4 horas no processo de cementação e teve elevação de dureza de 62 HRC no ponto 5 e 40 HRC no ponto 4, ou seja, um aumento de dureza de 8% no ponto 5 em relação ao mesmo ponto da amostra anterior.

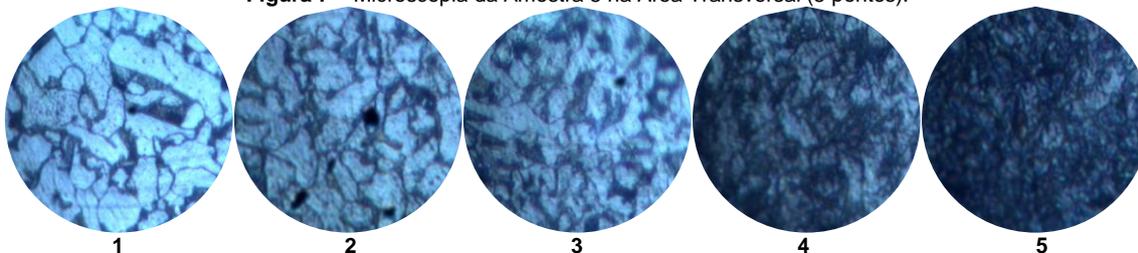
Figura 6 – Microscopia da Amostra 4 na Área Transversal (5 pontos).



Fonte – Os Autores.

Os resultados obtidos com a amostra 5 na Figura 7, demonstram a difusão de carbono nos pontos 4 e 5, mostrando uma elevada taxa de concentração de carbono nas extremidades. Esta amostra, que permaneceu 5 horas no tratamento de cementação, apresentou 62 HRC no ponto 5 e quando comparado com o ponto 5 da amostra anterior (Figura 6), revelou uma estabilidade no processo, o motivo é a redução do agente carbonizante, que deixou em menor quantidade a concentração de carbono no ambiente da caixa em contato com a amostra 5, tendo como consequência uma menor penetração da que se esperava em relação a amostra 4.

Figura 7 – Microscopia da Amostra 5 na Área Transversal (5 pontos).

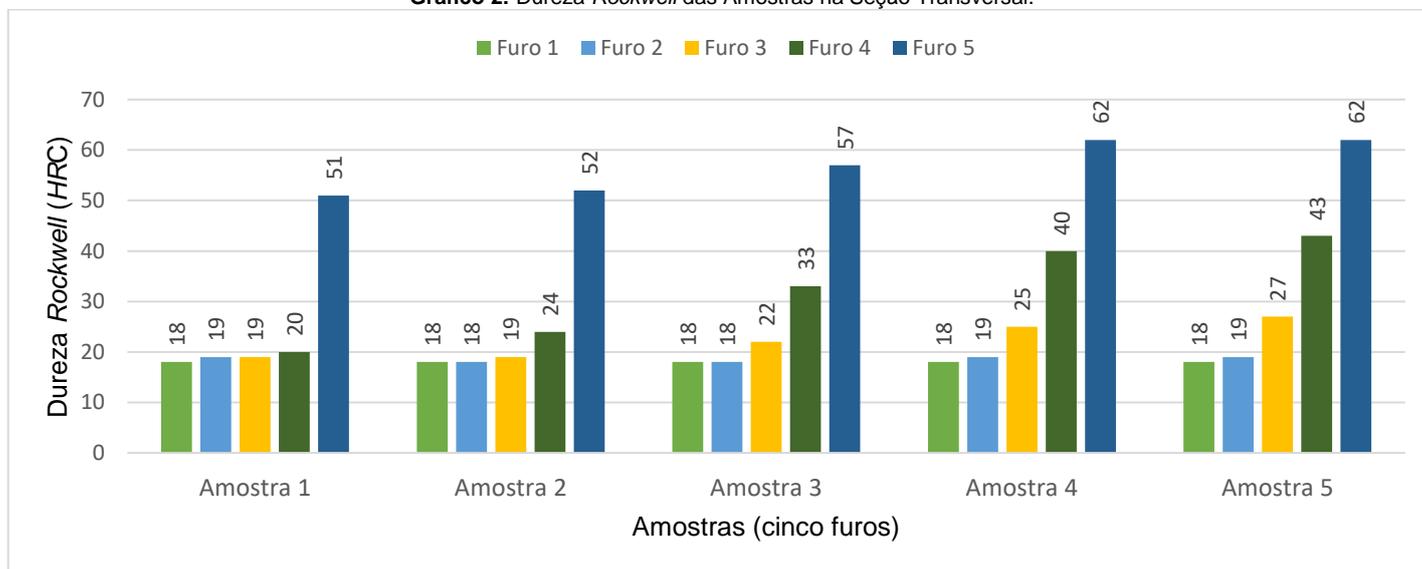


Fonte – Os Autores.

Após analisar os dados obtidos no ensaio de dureza e as imagens metalográficas é perceptível que os pontos 1 e 2 das amostras que sofreram o tratamento termoquímico não sofreram nenhuma influência da difusão, contudo é notável um pequeno aumento de dureza e uma reformulação dos grãos nos corpos de provas tratados. Já o ponto 3 das amostras 4 e 5, respectivamente nas figuras 6 e 7, elevaram suas durezas devido a reformulação dos grãos e a pequena taxa de difusão de carbono absorvidas pelo ponto 3, que ocorreu apenas a partir de 4 horas de tratamento na amostra 4 e se propagou ainda mais na amostra 5, atingindo 27 HRC.

O ensaio de dureza Rockwell transversal, teve seus dados introduzidos no Gráfico 2, que contém as 6 amostras relacionadas com as figuras anteriores. No gráfico, cada amostra contém 5 colunas, cada coluna representa os valores médios de dureza encontrada nos respectivos pontos da Figura 1.

Gráfico 2: Dureza Rockwell das Amostras na Seção Transversal.



Fonte – Os Autores.

O Gráfico 2 revela o aumento de dureza na seção transversal das amostras partindo do centro até a extremidade, os pontos foram selecionados de modo a demonstrar que não há alteração no núcleo e ao mesmo tempo mostra a alteração ocorrida na extremidade da seção transversal. Quando se faz uma análise detalhada do Gráfico 2, é percebido o ganho de dureza no ponto mais extremo da amostra 5 que é de 17,74% em relação a extremidade da amostra 1, mas esse resultado não revela a real eficiência do processo de cementação em si, apenas a evolução de dureza no decorrer do tempo.

Contudo, quando se analisa as demais amostras comparando-as com a amostra 0 (amostra que não recebeu o tratamento) que tem como média de dureza 16 HRC, a evolução da dureza em relação ao tempo nos mostra os seguintes percentuais de eficiência: amostra 1 é de 68,62%; amostra 2 é de 69,23%; amostra 3 é de 71,93%; amostra 4 é de 74,19%; e finalmente amostra 5, que se manteve constante com 74,19% de ganho de dureza. Acima, ainda se comparando com a amostra 0, percebe-se na amostra 5, a real eficiência do ganho de dureza superficial, atingindo o patamar de 74,19% após 5 horas de cementação. Tais resultados se deve a

solubilidade e a difusão do elemento químico (carbono) no aço com alta temperatura e tempo de permanência no ambiente carbonizante.

Os valores apresentados no gráfico 1, que mostra os valores de dureza longitudinal são os mesmos valores encontrados no ensaio de dureza na seção transversal no ponto 5, isso ocorre devido ambos os pontos serem os extremos das amostras cada um em sua respectiva área tendo apenas um ângulo de 90° separando os da aplicação da força.

5. Conclusão

O resultado obtido do processo de cementação sólida no aço SAE 1020 comprovou a eficiência deste processo que por meio do ensaio de dureza *Rockwell* demonstrou o efetivo endurecimento das extremidades das amostras mantendo um núcleo dúctil e tenaz. Ao analisar os valores obtidos no ensaio de dureza, as extremidades tiveram uma média de ganho de 40,8 *HRC* em relação a dureza inicial e 38,8 *HRC* em relação ao centro, esses resultados se devem ao aumento no percentual de carbono na estrutura cristalina do metal, que ao ser submetido a temperatura acima do ponto crítico teve uma alteração no seu retículo cristalino que permitiu a concentração de carbono formando assim a camada cementada. Após verificar a eficiência nas extremidades, foi feita uma avaliação no centro das amostras e confirmou-se interferência devido o processo, onde ocorreu média de ganho de 2 *HRC* no ponto 1 (centro) e de aproximadamente 3 *HRC* no ponto 2, evidenciaram um aumento na dureza, contudo esse aumento não se deve ao processo de difusão de carbono, mas sim ao processo de têmpera que reformulou os contornos e tamanhos de grãos nas amostras. Com as imagens obtidas no ensaio metalográfico, fica evidenciado a alteração nos grãos e a concentração de carbono nas extremidades, tal concentração teve como variável o tempo de permanência no ambiente em contato com o agente carbonizante a temperatura constante, já os grãos tiveram sua alteração no processo de têmpera devido ao resfriamento brusco em óleo queimado, formando assim uma nova estrutura com um elevado teor de carbono.

6. Referências

- [1] AÇOSPORTE, 2018. **Aço SAE 1020**. Disponível em: <<http://www.acosporte.com.br/aco-sae-1020>>. Acesso em: 15 março de 2018.
- [2] Carla, R., & Santos, T. (2007). CELESTINO, FELIPE e MACHADO (2007), **Análise comparativa entre o tratamento térmico (tempera) e o tratamento termoquímico (cementação) realizado em aço 1040**. CEFET-RN.
- [3] **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**, Hulbertus Colpaert, 4ª edição revista e atualizada por André Luiz V. da Costa e Silva, Editora Blucher, São Paulo, 2008.
- [4] CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos e principais tipos**. 7ª ed. ABM, São Paulo, 2015, p. 130 - 134.
- [5] ROHDE, R. A. (2010). **Metalografia preparação de amostras**. Retrieved from www.urisan.tche.br/~lemm.
- [6] Jr., CALLISTER, William D., RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução**, 9ª edição. LTC, 07/2016.
- [7] André Luiz V. da Costa e Silva, Paulo Roberto Mei, **Aços e Ligas Especiais**, Editora Edgard Blücher, 3ª edição, 2010, p. 147 – 154.
- [8] CHIAVERINI, V. **Tratamentos térmicos das Ligas Metálicas**. Associação Brasileira de Metalurgia e matérias. ABM, São Paulo, 2008, p. 109.