

Avaliação da resistência à corrosão no aço SAE 1045 devido aos tratamentos térmicos

Corrosion resistance evaluation in SAE 1045 steel due to thermal treatments

F. N. de J. Guedes¹; C. S. Monnerat²

¹ Departamento de Ciências Exatas Aplicadas e dos Materiais, Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade - MG, Brasil.

² Departamento de Química, Instituto Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil.

¹fabriciajesus@gmail.com

Resumo

Como base para este trabalho, foi feito um estudo sobre corrosão e tratamento térmico, utilizando os melhores autores dessas áreas. Um estudo do efeito dos tratamentos térmicos na corrosão do aço SAE 1045 imerso em soluções ácidas e básicas durante um período de trinta dias foi realizado. Nas amostras foram realizados os tratamentos térmicos de normalização, recozimento, tempera e revenimento, utilizando soluções de H₂SO₄ e NaOH ambas com concentração de 2,5%, com o objetivo de obter diferentes taxas de corrosão. Os resultados nas amostras imersas em solução básica foram inconclusivos, enquanto para as amostras imersas em solução ácida mostram que não há variação na corrosão para os diferentes tratamentos térmicos.

Palavras-chave: Aço SAE 1045; Corrosão; Tratamento Térmico.

.....
As a basis for this work, a study on corrosion and heat treatment was done using the best authors of these areas. A study of the effect of heat treatments on SAE 1045 steel corrosion immersed in acidic and basic solutions for a period of thirty days was performed. All samples were performed standardization thermal treatment, annealing, quenching and tempering, using H₂SO₄ and NaOH solutions both with a concentration of 2,5% in order to obtain different corrosion rates. Results for samples immersed in the basic solution were inconclusive, while for the samples immersed in acid solution show no change in corrosion to various heat treatments.

Keywords: SAE 1045 steel; Corrosion; Heat Treatment.

1 INTRODUÇÃO

É conhecido que os tratamentos térmicos podem apresentar variabilidades em relação aos aspectos relacionados à dureza, fragilidade entre outras propriedades físicas do aço. Esses tratamentos são aplicados aos aços para obter propriedades físicas ideais para uso em construções civis, automóveis, peças mecânicas em geral.

As variações na composição química que os aços apresentam, podem proporcionar diferentes níveis de resistência, estando o preço do aço atrelado à liga que é responsável por essa modificação na resistência. Com isso, o preço de aços ligados, que são mais resistentes à corrosão, é muito alto e, em alguns casos, esses aços são usados em funções em que poderia ser utilizado algum aço mais barato e simples.

Com a crescente demanda por aços no mundo, é muito importante conhecer a resistência à corrosão do aço SAE 1045 visando ao interesse na aplicação desse aço, em novas áreas que exijam uma maior resistência à corrosão, e também uma determinada resistência mecânica, já que este aço é muito utilizado na construção civil, nas peças mecânicas e outros e está susceptível a ação corrosiva dos meios em que ele está exposto, fazendo com que sua vida útil diminua drasticamente devido à corrosão.

Desta forma, quantificar a diferença na resistência à corrosão no aço SAE 1045 com os diferentes tratamentos térmicos e avaliar o uso de aços mais baratos e simples como o aço SAE 1045 em novas aplicações mostra-se muito promissor.

Scheidemantel (2014) descreve que o valor máximo de dureza está associado ao teor de carbono (0,45%) do aço, na mesma faixa dos teores dos aços SAE 4340 e 4140 (0,39-0,42%). Essa dureza é associada à dureza da martensita, que depende apenas do teor de carbono. A ausência de elementos de liga nesse aço altera a transformação austenita – ferrita / perlita, diminuindo portanto a sua temperabilidade do aço.

Reed-Hill e Abbaschian (1994), conceitua tratamento térmico como uma operação ou conjunto de operações realizadas no estado sólido compreendendo o aquecimento, a permanência em determinadas temperaturas e o resfriamento, realizados com a finalidade de alterar as microestruturas e como consequência as propriedades mecânicas, magnéticas e elétricas dos metais e suas ligas.

Existem vários fatores que afetam os tratamentos térmicos, entre eles, ressalta-se a taxa de aquecimento que considera as velocidades de aquecimento, considerando que as taxas de aquecimento máximas dependem da condutividade térmica do aço, do tamanho e forma do componente. Outro fator relevante é o tempo de permanência na temperatura de tratamento que compreende a soma do tempo para a homogeneização da temperatura no componente e o tempo da transformação de fase. Já a Taxa de resfriamento é o fator mais importante do ciclo térmico, pois determina a microestrutura final obtida no tratamento térmico.

Para cada tipo de material, temos as taxas de resfriamento ideais para cada tratamento térmico, e desrespeitar essas taxas pode causar defeitos como a formação de trincas, a obtenção de características indesejadas, entre outros.

Para Chiaverini (2012), alguns parâmetros também devem ser considerados na análise da resistência do aço à corrosão. Podem ser citados: recozimento, normalização, tratamento de têmpera e revenimento, dentre outros.

O recozimento consiste em aquecer a peça em um forno a uma temperatura

acima do limite superior da zona crítica (A3), manter o tempo suficiente para que toda a estrutura transforme-se em austenita e resfriar lentamente (por exemplo, desligando o forno e mantendo a peça no interior durante o resfriamento do mesmo). O objetivo do recozimento é a eliminação de efeitos de tratamentos aplicados anteriormente, levando o aço a uma estrutura semelhante a que seria obtido em transformações em equilíbrio.

Chiaverini (2012) também faz outra consideração em relação à normalização, que consiste em aquecer a peça em um forno à uma temperatura acima do limite superior da zona crítica (A3), manter o tempo suficiente para que toda a estrutura transforme-se em austenita e resfriar ao ar (mais rapidamente que no caso do recozimento).

O tratamento de têmpera consiste em aquecer a peça em um forno a uma temperatura acima do limite superior da zona crítica (A3), manter o tempo suficiente para que toda a estrutura transforme-se em austenita e resfriar muito rapidamente (em água ou óleo, por exemplo) (SCHEIDEMANTEL, 2014).

O revenido consiste em aquecer a peça temperada a uma temperatura abaixo do limite inferior da zona crítica (A1) e mantê-la por certo tempo nessa temperatura. Como a martensita é uma fase metaestável supersaturada de carbono, o aquecimento aumenta a possibilidade de difusão de carbono para fora da estrutura provocando a decomposição parcial da martensita em ferrita deformada (com teor de carbono acima do limite) e agregados finos de carbonetos (Fe_3C).

A austêmpera já é um tratamento isotérmico que tem como objetivo obter uma estrutura bainítica uniforme e portanto resistência mecânica e dureza altas. Por fim, o último tipo de tratamento térmico, a martêmpera, consiste em aquecer o aço a uma temperatura acima do limite superior da zona crítica e manter até a completa austenitização, resfriar posteriormente até uma temperatura pouco acima da temperatura de início da formação de martensita (M_i), manter até que toda a peça atinja essa temperatura e resfriar rapidamente até a temperatura ambiente para que a austenita transforme-se em martensita.

Gentil (2011) define corrosão como a deterioração de um material, que pode ser por ação química ou eletroquímica do meio ambiente juntamente ou não com esforços mecânicos. A corrosão causada pela interação físico-química entre o material e o seu meio onde está sendo empregado representa alterações prejudiciais e indesejáveis ao material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso.

Para Callister e Rethwisch (2012), a corrosão ocorre de diferentes formas para os três tipos de materiais sendo que nos metais tem-se uma perda de material que pode ser por incrustação, dissolução ou por um filme não metálico. Os cerâmicos o processo de deterioração do material acontece geralmente sob temperaturas elevadas ou em ambientes extremos, e também é chamado de corrosão. Já no caso dos polímeros, o termo usado é a degradação. Eles são dissolvidos quando expostos a um solvente líquido, podendo absorver o líquido e inchar, e também o calor pode alterar sua estrutura molecular juntamente com a radiação eletromagnética.

A corrosão pode ocorrer de várias formas e é muito importante seu estudo, pois o processo corrosivo varia, dependendo da morfologia, causas ou mecanismos, fatores mecânicos e meios corrosivos. As formas de corrosão podem ser classificadas como: uniforme, por placas, alveolar, por pite, intergranular, intragranular, filiforme, por esfoliação, gráfitica, dezincificação, empolamento pelo hidrogênio, como mostrado na Figura 1.

Deve-se ressaltar a importância da natureza do meio corrosivo que se encontra

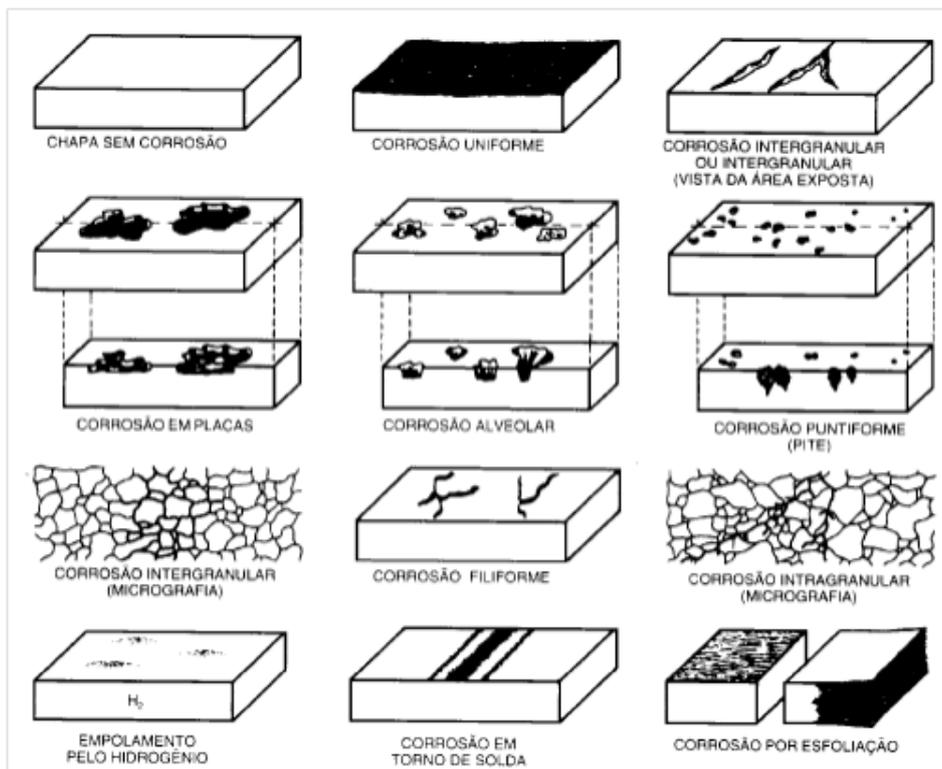
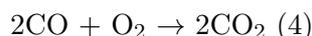
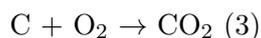
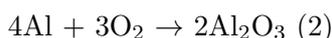
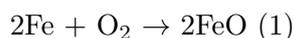


Figura 1 – *Classificação dos tipos de corrosão. Fonte: Gentil (2011).*

juntamente à superfície metálica. Assim por exemplo, no caso de trocadores ou permutadores de calor, a temperatura elevada do meio corrosivo na parte do contato imediato com a superfície metálica dos tubos. Os meios corrosivos mais frequentemente encontrados são: atmosfera; águas naturais; solo; produtos químicos; alimentos; substâncias fundidas; solventes orgânicos; madeira; plásticos.

De acordo com [Gentil \(2011\)](#) corrosão é definida por reações químicas e eletroquímicas em um processo espontâneo, no qual acontece a oxidação da superfície do metal. Quando o metal já está oxidado pode formar uma barreira entre o metal e o meio corrosivo diminuindo assim a velocidade da corrosão no metal.

A oxidação é caracterizada pela perda de elétrons de uma espécie química, processo sempre associado à redução, resultante do recebimento de elétrons de outra espécie química, conforme mostrado nas equações a seguir:



Na análise da corrosão, deve-se sempre levar em consideração as variáveis dependentes do material metálico, do meio corrosivo e das condições operacionais, pois para saber o material adequado a ser utilizado diversas variáveis precisam ser avaliadas, como:

tipo de material metálico, meio corrosivo, condições operacionais, dentre outros (GENTIL, 2011).

Os problemas de corrosão são comuns e ocorrem em vários tipos de atividades, como por exemplo, nas indústrias químicas, petrolíferas, petroquímica, naval, de construção civil, automobilística, nos meios de transporte aéreo, ferroviário, metroviário, marítimo, rodoviário e entre várias outras atividades.

Por apresentar-se como um fator relevante para os diferentes segmentos industriais, o estudo da corrosão faz-se muito necessário, visto que os custos com os desgastes ocorridos, gerando até mesmo a substituição dos materiais, são elevados, fator que merece atenção já que envolve perda de lucratividade por parte das empresas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos experimentos foram utilizadas amostras do aço SAE 1045, cuja composição química é 0,45618% de carbono, 0,20512% de silício, 0,55030% de manganês, 0,02658% de fósforo e 0,01522% de enxofre.

Os ensaios estudados neste trabalho (o tratamento térmico de recozimento, normalização e o de tempera e revenimento) foram realizados no Laboratório de tratamento térmico da Faculdade de Engenharia de João Monlevade (FaEnge), sendo empregados o forno tipo mufla (para tratamento térmico) SPLABOR (SP-1200), a cortadora metalográfica, METALPIRSMA (CM70); lixadeira, AROTEC (AROPOL 2V), balança de precisão, Bioprecisa (FA2104N) e água para o resfriamento.

Freitas (2014) orienta que a temperatura máxima ideal que deve ser utilizada para os tratamentos térmicos (temperatura de austenitização) é definida por uma série de fatores, como: a porcentagem de carbono presente no aço; A presença de ligas; entre outros. Para o tratamento térmico no aço SAE1045, é ideal que se utilize a temperatura de 900°C, pois à essa temperatura, temos a fase austenítica e uma menor chance de ocorrerem problemas como a descarbonetação pela superfície do material.

O tempo de exarque (tempo em que a amostra fica na temperatura de austenitização) é definido por uma equação simples, que diz que a cada uma polegada de diâmetro da sessão transversal, deve-se deixar uma hora dentro do forno, deste modo foi definido o tempo de 30 minutos para as amostras utilizadas no experimento (REED-HILL; ABBASCHIAN, 1994).

O ensaio de tratamento térmico de normalização foi realizado a uma temperatura de 900°C, com uma taxa de aquecimento de aproximadamente 9,0°C/min e foi mantido nessa temperatura por 30 minutos, o que proporcionou a homogeneização da estrutura interna da amostra seguido de resfriamento ao ar.

O recozimento foi realizado utilizando os mesmos parâmetros da normalização até homogeneização da amostra que foi submetida a resfriamento dentro do forno à uma taxa de resfriamento de 38,0°C/h.

Para realizar o tratamento térmico de tempera e revenimento, foi utilizada a temperatura de 900°C, com uma taxa de aquecimento de aproximadamente 10°C/min. A amostra foi mantida nessa temperatura por 30 minutos, o que proporcionou a homogeneização da sua estrutura interna, seguido de um resfriamento brusco em água, buscando a formação da martensita.

Em seguida, foi submetido a aquecimento até a temperatura de 415°C e mantida pelo tempo de 2 horas para a realização do ensaio de revenimento.

Os ensaios de corrosão foram realizados no laboratório de química da FaEnge. Utilizou-se dois tipos de soluções, ácida e básica, com o intuito de verificar se para meios com diferentes valores de pH haveria também uma alteração no comportamento da corrosão nos tratamentos térmicos.

Para a solução ácida, foi utilizado H₂SO₄, por ser um ácido muito forte, e para a solução básica, foi utilizado NaOH, também por ser uma base forte, e a concentração de ambas as soluções foi de 2,5%, essa concentração foi a considerada ideal pelos autores, levando em consideração o tempo de experimento, e a quantidade de corrosão esperada.

Semanalmente, foi feita a troca das soluções, a fim de evitar que o processo de corrosão se estagnasse, devido à saturação delas. O volume utilizado semanalmente foi de 330mL de cada solução (55mL por amostra, e seis amostras em cada solução).

As amostras utilizadas tinham perfil redondos laminados com diâmetro de 0,5 pol, cortados da mesma barra, garantindo uma maior uniformidade da composição química e maior confiabilidade dos dados obtidos, sendo lixadas e limpas após o tratamento térmico para a retirada de toda camada oxidada oriunda das etapas anteriores e, que poderiam afetar o ensaio de corrosão.

Foram utilizados para o experimento 12 (doze) amostras, sendo as amostras “1” e “2” de cada tratamento térmico inseridas na solução ácida e as “3” e “4” na solução básica. Suas massas estão listas na [Tabela 1](#).

Tabela 1 – *Número, massa(g) e tratamento térmico das amostras.*

Amostra	Normalizado	Recozido	Temperado e revenido
1	26,2922	28,0774	25,5372
2	27,3449	24,6215	26,7846
3	25,7164	24,4641	22,7877
4	27,8444	30,9951	25,5621

As amostras foram completamente imersas nas soluções, para que toda sua superfície estivesse susceptível à ação corrosiva. Para as medições, que foram feitas periodicamente durante 30 dias, todas as amostras foram lavadas, secas em estufa a baixa temperatura (aproximadamente 50 °C), e então, para avaliar a perda por corrosão, pesadas em uma balança de precisão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a coleta de dados fornecidos pelo experimento, pode-se observar que as amostras submetidas à imersão em solução básica não apresentaram variação significativa em suas massas. Esses resultados indicam que a solução de NaOH a 2,5% ocasionou uma corrosão muito branda no período em que foi exposto, não sendo possível avaliar o efeito corrosivo da mesma nas diferentes amostras. A literatura consultada permite inferir que o meio básico pode ser bastante corrosivo, entretanto o tempo de exposição é fundamental para que o efeito seja visualizado (GENTIL, 2011).

A [Figura 2](#) mostra a perda de massa absoluta sofrida pelas amostras imersas na

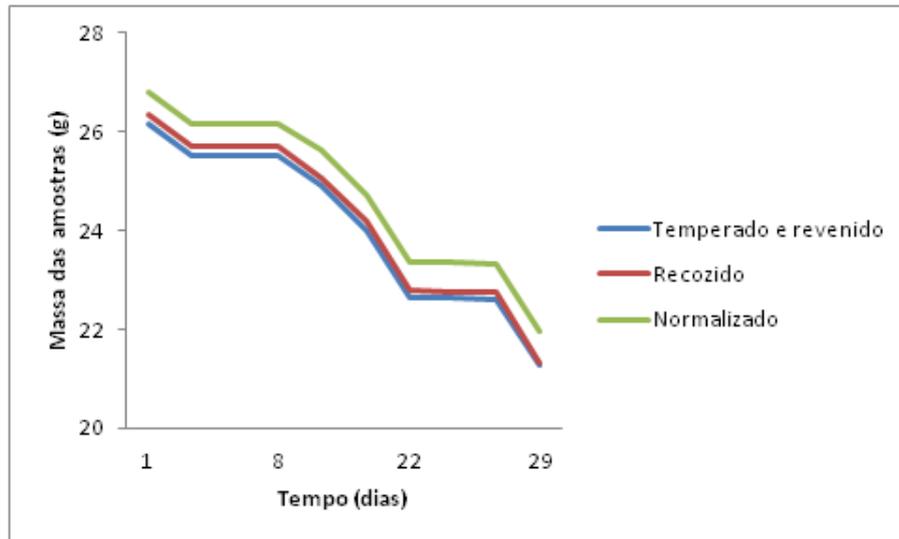


Figura 2 – *Variação da massa média das amostras submetidas ao meio ácido.*

solução ácida durante todo o período de exposição do material ao meio corrosivo. Foi considerada a média da massa das amostras em cada tratamento.

Diferentemente das amostras imersas em solução básica, pode-se observar na [Figura 2](#) que houve uma severa redução de massa das amostras estudadas. Interessante observar que o processo de corrosão apresentou relativa estagnação, provavelmente ocorrido pela saturação das soluções. Observa-se que o processo de corrosão foi acelerado sempre que ocorria a troca das soluções que aconteceu no oitavo e décimo dia do experimento.

Conforme exposto pelos trabalhos de [Buerger et al. \(2009\)](#) e [Cruz \(2005\)](#), era esperado que no tratamento térmico de Têmpera e Revenimento, houvesse uma taxa de corrosão diferente dos outros tratamentos, já que sua estrutura interna era formada por uma fase metaestável. Os outros tratamentos térmicos resultaram em fases estáveis em temperatura ambiente, e também parecidas, variando apenas o tamanho do grão. Entretanto, pode-se observar na [Figura 2](#) que todas as amostras imersas em solução ácida tiveram uma alta taxa de corrosão, e que diferente do esperado, as curvas de todas as amostras seguiram o mesmo padrão, não evidenciando diferença na resistência à corrosão entre os tratamentos térmicos.

A fim de avaliar a taxa de corrosão relativa, traçou-se o gráfico ilustrado na [Figura 3](#), utilizando a variação percentual da massa das amostras, uma vez que elas apresentavam massas e tamanho diferentes, e que o processo de corrosão depende da área de contato entre a amostra e o meio corrosivo para ocorrer.

Sendo assim, a [Figura 3](#) ilustra a perda de massa percentual sofrida pelas amostras imersas na solução ácida durante todo o período do experimento. Esse gráfico foi traçado levando-se em consideração a média da massa entre as amostras de cada tratamento térmico.

A análise da [Figura 3](#), revela que, como descrito anteriormente, ocorreu um aumento acentuado no processo corrosivo das amostras imediatamente após a troca da solução, chegando ao valor máximo seguindo de um decaimento que pode ser explicado pela saturação da solução que acarretou uma diminuição do processo corrosivo. Observa-se também, que

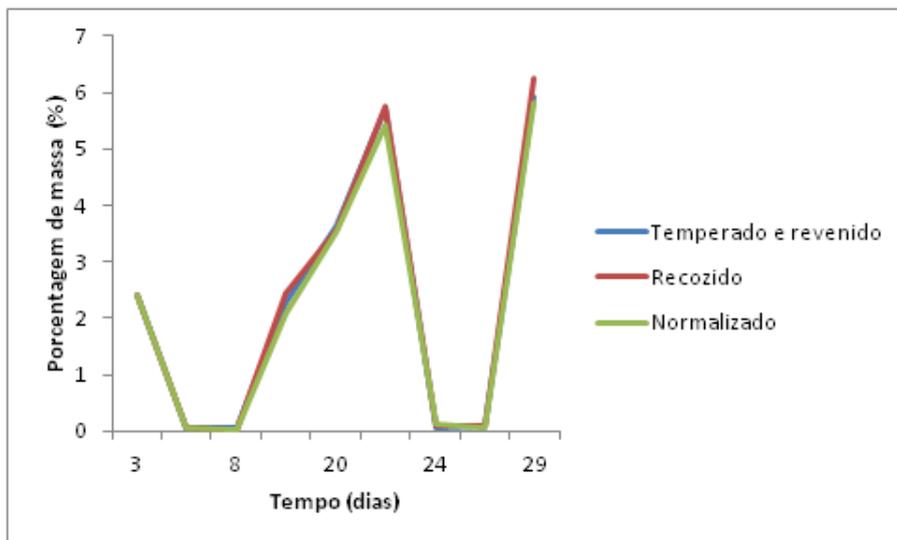


Figura 3 – *Variação relativa da média da massa das amostras.*

as curvas de corrosão nos tratamentos térmicos seguiram o mesmo padrão, corroborando com os resultados mostrados na [Figura 3](#), ou seja, não houve variação palpável entre as curvas de corrosão. Isso demonstra que os tratamentos térmicos no aço SAE 1045 não afetam na resistência à corrosão, quando submetidos às condições utilizadas no presente trabalho.

4 CONCLUSÃO

Nos ensaios realizados era esperado que houvesse diferença na taxa de corrosão entre as amostras submetidas aos diferentes tratamentos térmicos, principalmente, no tratamento de tempera e revenimento, visto que a fase predominante presente era de martensita, como descreveu [Picon et al. \(2010\)](#), diferente dos tratamentos de normalização e recozimento que apresentavam fase de ferrita e cementita. No experimento realizado, os tratamentos térmicos no aço SAE 1045 não afetaram a resistência à corrosão, pois embora a composição química fosse idêntica, os ensaios alteraram a estrutura interna, o que poderia ter ocasionado processos corrosivos distintos. Entretanto, outros fatores como o tamanho de grão diferente também poderiam ter influenciado a corrosão avaliada.

O presente estudo indicou que, independente do tratamento térmico aplicado, o efeito corrosivo em meio ácido sulfúrico a 2,5% foi o mesmo das amostras do aço SAE 1045 empregadas nas análises. Entretanto, novos estudos devem ser feitos em condições diversas para confirmar a irrelevância do tratamento térmico frente ao efeito corrosivo.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à faculdade de Engenharia de João Monlevade - FAENGE, pela cessão dos laboratórios necessários à condução da pesquisa, à nossa orientadora do projeto que sempre nos auxiliou, Professora Fabrícia Nunes de Jesus Guedes e ao nosso colega colaborador Matheus, que nos auxiliou em todos os testes feitos no laboratório.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUERGER, G. R. et al. **Estudo Do Tratamento Térmico Sobre a Conformação do aço 1045**. 2009.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia dos Materiais uma Introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2012.

CHIAVERINI, V. **Tratamento Térmico das Ligas Metálicas**. 1. ed. São Paulo: Tec. Art Editora Ltda, 2012.

CRUZ, L. C. **Avaliação da capacidade do processo de fabricação em atender especificação de temperabilidade para o aço SAE 1584M**. 2005. Dissertação (Mestrado) — UFMG, 2005.

FREITAS, P. S. **Tratamento Térmico Dos Metais**. 1. ed. [S.l.]: Senai, 2014.

GENTIL, V. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2011.

PICON, C. A. et al. Estudo do mecanismo de corrosão por pites em água do mar de aços inoxidáveis supermartensíticos microligados com Nb e Ti. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 63, n. 1, p. 65–69, jan. mar 2010.

REED-HILL, R. E.; ABBASCHIAN, R. The hardening of steel. In: _____. **R. Physical Metallurgy Principles**. 3. ed. Boston: PWS Puablisshing Company, 1994. cap. 19, p. 632–687.

SCHEIDEMANTEL, R. H. **Utilização de métodos teóricos para avaliação da temperabilidade Jominy de aços com diferentes composições químicas**. 2014. UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Trabalho de conclusão de curso.