doi.org/10.51891/rease.v10i12.17265

ESTUDO DO USO DE NANOFLUIDOS COM PORCENTAGEM DE CONCENTRAÇÃO DE NANOTUBO DE CARBONO PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE TÊMPERAS

Rafael Rocha Maia[1]
Gabriel Fernandes Bispo Simione[2]
Gabriel Souza dos Santos[3]
Leonardo Vilela Silva[4]
Douglas Morais[5]
Paulo Henrique Ogata[6]
Fabio Conte Correia[7]

RESUMO: A têmpera é um dos processos metalmecânicos mais utilizados desde sua descoberta, e seu intuito é a aquisição de melhores propriedades de dureza e resistência mecânica. Esta possui duas etapas, o aquecimento e o resfriamento brusco. No artigo abaixo apresentam-se os resultados de um trabalho de conclusão de curso em forma de artigo científico sobre a aplicação de nanotubos de carbono com diferentes concentrações. Os mesmos foram diluídos em água, com as concentrações de 0,05%, 0,1% e 0,2%, após o feito, as peças submersas foram cortadas, com utilização do Cut-off, ao meio e analisadas via microscópio óptico. Além disso, verificou-se a dureza, através do ensaio Rockwell C. A partir da metodologia utilizada e dos equipamentos empregados para realizar as medições, foi constatado que não houve mudança significativa nos resultados de tratamento térmico com uso de nanotubos de carbono.

Palavras-chave: Têmpera. Nanotubos de Carbono. NanoFluido.

ABSTRACT : Tempering is one of the most widely used metallurgical processes since its discovery, with the aim of achieving improved hardness and mechanical strength properties. It consists of two stages: heating and rapid cooling. The article below presents the results of a final course project in the form of a scientific article on the application of carbon nanotubes with different concentrations. These were diluted in water at concentrations of 0.05%, 0.1%, and 0.2%. Afterward, the submerged pieces were cut in half using a cut-off method and analyzed through an optical microscope. Additionally, hardness was assessed using the Rockwell C test. Based on the methodology and equipment used for the measurements, it was found that there was no significant change in the results of the heat treatment when using carbon nanotubes.

Keywords: Tempering. Carbon Nanotubes. NanoFluid.

[1]Mestre. Professor, Faculdade Tecnológica do Estado de São Paulo (FATEC).
[2]Discente. Universidade de Mogi das Cruzes (UMC).
[3]Discente. Universidade de Mogi das Cruzes (UMC).
[4]Discente. Universidade de Mogi das Cruzes (UMC).
[5] Professor. Faculdade Tecnológica do Estado de São Paulo (FATEC).
[6]Professor. Faculdade Tecnológica do Estado de São Paulo (FATEC).
[7]Professor. Faculdade Tecnológica do Estado de São Paulo (FATEC).

INTRODUÇÃO

O processo térmico de têmpera é caracterizado como a modificação ou obtenção de propriedades de dureza e resistência mecânica elevadas. A têmpera tem duas etapas: aquecimento e esfriamento rápido. O aquecimento tem como objetivo obter a organização dos cristais do metal, numa fase chamada austenitização que significa compreender o processo de transformação do aço pela elevação da temperatura acima da que se considera crítica. Quando nesta temperatura, por um tempo específico, é formada a austenita, que é o ponto de partida para vários tratamentos térmicos. O resfriamento brusco visa obter a estrutura martensita. pelo aquecimento à temperatura de austenitização e em seguida, o resfriamento rápido (CHIAVERINI, 1959).

O objetivo visado pela têmpera é a obtenção da estrutura martensítica. Assim sendo, a velocidade de resfriamento dependerá do tipo de aço, da forma e das dimensões das peças. O resfriamento é importante para impedir que o aço mude para uma fase diferente daquela que se obteve na temperatura de austenitização, obtendo assim uma estrutura martensitica. (CHIAVERINI, 1970).

No ramo da metalurgia não há inovações de processo e tecnologia voltadas ao aumento da produtividade nos últimos tempos e, melhorar o desempenho dos processos de resfriamento é um desafio que muitas indústrias do seguimento metalmecânico enfrentam atualmente (DAS, et al; 2007).

Vêm sendo estudados novos métodos para melhorar o processo de transferência de calor, utilizando nanopartículas como: nanotubo de carbono, óxido de alumínio e cádmio-selênio junto a um fluido de transporte. (CASTRO, 2017), (HU, 2005).

As nanopartículas, em geral, são muito importantes porque se diferenciam das partículas macroscópicas, pois com menor percentual podem adquirir novas características mecânicas, elétricas e térmicas. As propriedades destes materiais são determinadas pelo tamanho e pela morfologia, originando uma fascinante sintonia em suas propriedades físico-químicas. Talvez os exemplos mais claros e ilustrativos desses fenômenos possam ser tomados da ciência do carbono após a descoberta dos fulerenos, em 1985, e dos nanotubos de carbono (NTCs), em 1991. Os NTCs são sistemas modelo para a nanociência e a nanotecnologia. Essas novas estruturas de carbono são bastante versáteis para se integrarem às diferentes áreas do

conhecimento. Hoje, as pesquisas em nanotubos de carbono cruzam as fronteiras da física, da química, das ciências dos materiais e da biologia. (GOMES; FARGAN, 2007).

São considerados como uma nova classe de carbono puro, descobertos em 1991 por lijima, que podem ser visualizados como redes hexagonais de carbono enrolados (folhas de grafite, ou grafenos) e fechadas por anéis pentagonais de carbono (POSSAGNO, 2005). Quanto ao número de camadas são classificados de duas formas: nanotubos multicamada ("multi-wallcarbonnanotubes - MWNTs") e camada simples ("single-wallcarbonnanotubes - SWNTs"). Um tipo especial de MWNT é o nanotubo de parede dupla ("double-wallcarbonnanotubes - DWNTs").

Grande parte dos estudos nessa área é voltada à troca de calor por meio indireto (onde o objeto refrigerado não entra em contato com o fluido refrigerante), onde explica-se melhor o funcionamento do tal trocador. Um dos fluidos entra pelo casco do trocador, enquanto o outro, normalmente refrigerante, entra pelo tubo, assim executando a troca de calor entre eles.

É pela importância do processo de têmpera no meio industrial, na aquisição de propriedades de resistência mecânica e dureza que o estudo da aplicação dos nanotubos de carbono pelo contato direto é de suma importância. Nesta pesquisa foram analisadas as principais modificações na estrutura do aço SAE1045. Além, dos métodos de preparação e caracterização dos nanotubos de carbono.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para aquisições dos parâmetros comparativos, foi realizada a têmpera convencional, que consiste em aquecimento até a temperatura de austenitização, que para o aço escolhido (SAE1045) é uma faixa de 870ºC a 900ºC e logo em seguida o resfriamento brusco em água a temperatura ambiente, mensurada em 23ºC (CHIAVERINI, 2002).

Foi obtida uma barra de aço SAE1045 em formato de cilindro com 1" de diâmetro cortada por serra-fita com 1" de comprimento. Para facilitar a retirada das peças de dentro do forno com a tenaz.

Os corpos de prova foram aquecidos à temperatura de 850ºC dentro do forno Mufla, modelo Q318M21 – 220 V/1720 W. O tempo de aquecimento do mesmo até 850ºC foi de 55 minutos.

Atingida a temperatura adequada, foi colocado um corpo de prova centralizado no forno para melhor distribuição do calor, pelo fato de encontrar-se próximo a resistência.

O aquecimento de cada uma das peças foi de uma hora, e logo após, os corpos foram imersos individualmente em três litros de água pura a 23ºC dentro de um recipiente metálico com termômetro (marca Rivaterm sem modelo) de mercúrio acoplado. Para que não houvesse gradiente de temperatura, as peças foram agitadas por 3 minutos e retiradas imediatamente após.

Para o tratamento de têmpera com 0,05% de concentração de NTCs, foi realizado o mesmo processo de aquecimento da têmpera convencional, contudo houve a diluição de 1,5 gramas, medidas em balança de precisão (marca Shimadzu - Modelo Marte - Série UX4200H). As nanopartículas foram dissolvidas em 3 litros de água.

Por conta da limitação na quantidade de nanotubos, foi necessário o reaproveitamento do líquido de resfriamento para todos os testes.

Para o processo de têmpera com 0,1% de concentração de NTCs, foi realizado o mesmo processo de aquecimento da têmpera convencional, contudo houve a diluição de 3 gramas dos nanotubos de carbono no líquido de resfriamento. As nanopartículas foram dissolvidas em 3 litros de água, e com a têmpera com 0,2% houve a diluição de 6 gramas de NTCs em três litros de água.

$\check{x}1 = (55 + 53 + 43 + 37 + 36)/5 = 42{,}6$ - (Eq.1) média da primeira amostra de H_2O;

$\check{x}2 = = (53 + 52 + 43 + 36 + 35)/5 = 43{,}8$ - (Eq. 1) média da segunda amostra de H_2O;

$\sum \check{x}1^2 = 552 + 532 + 432 + 372 + 362 = 9523$ - (Eq.2) somatória ao quadrado das durezas da primeira amostra;

$\sum \check{x}2^2 = 532 + 5\overline{22 + } 432 + 372 + 362 = 9361$ - (Eq.2) somatória ao quadrado das durezas da segunda amostra;

$S1^2 = \frac{\sum \check{x}1^2}{5} - (\check{x}1^2) = 62{,}56$ - (Eq.3) Cálculo de variância das durezas da primeira amostra;

$S2^2 = \frac{\sum \check{x}2^2}{5} - (\check{x}2^2) = 58{,}16$ - (Eq.3) Cálculo de variância das durezas da segunda amostra;

$S\check{x}1 - \check{x}2 = \sqrt[2]{\frac{5x\,S12+5xS22}{(n1+n2-8)x25}}x10 = 1{,}1$ - (Eq.4) Variância combinada dos dois grupos de amostras;

$t = \frac{(\check{x}1 - \check{x}2)}{(S\check{x}1 - \check{x}2)} = 0{,}9$ (Eq.5) Cálculo do Teste t, onde $\check{x}1 - \check{x}2$ é a diferença entre as médias dos dois grupos de amostras;

$Gl = n - 2 = 10 - 2 = 8$ – (Eq.6) Graus de liberdade para consulta em tabela, onde n é o número total de amostras coletadas.

Com os graus de liberdade definidos em oito, por conta da quantidade de amostras.

Por padrão, utiliza-se 5% de probabilidade de um valor t ser superior ao tabelado, portanto, o tcrit = 2,306

O valor t calculado encontra-se dentro da zona de tcrit, que é -2,306 até 2,306, portanto, o teste e respectivas medições de dureza estão validados. 0,05%:

$\check{x}1 = (55 + 53 + 43 + 35 + 35)/5 = 44{,}2$ - (Eq.1) média da primeira amostra de 0,05%;

$\check{x}2 = (55 + 51 + 41 + 35 + 34)/5 = 43{,}2$ - (Eq.1) média da segunda amostra de 0,05%;

$\sum \check{x}1^2 = 552 + 532 + 432 + 352 + 35^2 = 10.133$ - (Eq.2) somatória ao quadrado das durezas da primeira amostra;

$\sum \check{x}2^2 = 552 + 512 + 412 + 352 + 342 = 9688$ - (Eq.2) somatória ao quadrado das durezas da segunda amostra;

Após recolhidos os resultados de dureza, foi calculado o teste T de Student para verificar a veracidade e confiabilidade dos ensaios de dureza:

$S1^2 = \frac{\sum \check{x}1^2}{5} - (\check{x}1^2) = 72{,}96$ - (Eq.3) Cálculo de variância das durezas da primeira amostra;

$S2^2 = \frac{\sum \check{x}2^2}{5} - (\check{x}2^2) = 71{,}36$ - (Eq.3) Cálculo de variância das durezas da segunda amostra;

$S\check{x}1 - \check{x}2 = \sqrt[2]{\frac{5x\,S12 + 5xS22}{(n1+n2-8)x25}}x10 = 6$ - (Eq.4) Variância combinada dos dois grupos de amostras;

$t = \frac{(\check{x}1 - \check{x}2)}{(S\check{x}1 - \check{x}2)} = 0{,}9$ (Eq.5) Cálculo do Teste t, onde $\check{x}1 - \check{x}2$ é a diferença entre as médias dos dois grupos de amostras;

$Gl = n - 2 = 10 - 2 = 8$ – (Eq.6) Graus de liberdade para consulta em tabela, onde n é o Número total de amostras coletadas.

O valor t calculado encontra-se dentro da zona de tcrit, que é -2,306 até 2,306, portanto, o teste

e respectivas medições de dureza estão validados.

0,1%

$\check{x}1 = (54 + 51 + 44 + 37 + 35)/5 = 44{,}2$ - (Eq.1) média da primeira amostra de 0,1%

$\check{x}2 = (53 + 50 + 42 + 36 + 35)/5 = 43{,}2$ - (Eq.1) média da segunda amostra de 0,1%

$\sum \check{x}1^2 = 542 + 512 + 442 + 372 + 35^2 = 10.047$ - (Eq.2) somatória ao quadrado das durezas da primeira amostra;

$\sum \check{x}2^2 = 532 + 502 + 422 + 362 + 352 = 9594$ - (Eq.2) somatória ao quadrado das durezas da segunda amostra;

$S1^2 = \frac{\sum \check{x}1^2}{5} - (\check{x}1^2) = 55{,}76$ - (Eq.3) Cálculo de variância das durezas da primeira amostra;

$S2^2 = \frac{\sum \check{x}2^2}{5} - (\check{x}2^2) = 52{,}56$ - (Eq.3) Cálculo de variância das durezas da segunda amostra;

$S\check{x}1 - \check{x}2 = \sqrt[2]{\frac{5x\,S12+5xS22}{(n1+n2-8)x25}}x10 = 5{,}2$ - (Eq.4) Variância combinada dos dois grupos de amostras;

$t = \frac{(\check{x}1 - \check{x}2)}{(S\check{x}1 - \check{x}2)} = 0{,}192$ (Eq.5) Cálculo do Teste t, onde $\check{x}1 - \check{x}2$ é a diferença entre as médias dos dois grupos de amostras;

$Gl = n - 2 = 10 - 2 = 8$ – (Eq.6) Graus de liberdade para consulta em tabela, sendo:

n = número total de amostras

O valor t calculado encontra-se dentro da zona de tcrit, que é -2,306 até 2,306, de acordo com a figura 4, portanto, o teste e respectivas medições de dureza estão validados.

0,2%

$\check{x}1 = (56 + 51 + 40 + 35 + 31)/5 = 42{,}6$ - (Eq.1) média da primeira amostra de 0,2%

$\check{x}2 = (56 + 51 + 38 + 34 + 32)/5 = 42{,}2$ - (Eq.1) média da segunda amostra de 0,2%

$\sum \check{x}1^2 = 562 + 512 + 402 + 352 + 31^2 = 9523$ - (Eq.2) somatória ao quadrado das durezas da primeira amostra;

$\sum \check{x}2^2 = 562 + 512 + 382 + 342 + 322 = 9361$ - (Eq.2) somatória ao quadrado das durezas da segunda amostra;

$S1^2 = \frac{\sum \check{x}1^2}{5} - (\check{x}1^2) = 89{,}84$ - (Eq.3) Cálculo de variância das durezas da primeira amostra;

$S2^2 = \frac{\sum \check{x}2^2}{5} - (\check{x}2^2) = 91{,}36$ - (Eq.3) Cálculo de variância das durezas da segunda amostra;

$S\check{x}1 - \check{x}2 = \sqrt[2]{\frac{5x\,S12+5xS22}{(n1+n2-8)x25}}x10 = 6{,}73$ - (Eq.4) Variância combinada dos dois grupos de amostras;

$t = \frac{(\check{x}1-\check{x}2)}{(S\check{x}1-\check{x}2)} = 0{,}059$ (Eq.5) Cálculo do Teste t, onde $\check{x}_1 - \check{x}_2$ é a diferença entre as médias dos dois grupos de amostras;

$Gl = n - 2 = 10 - 2 = 8$ – (Eq.6) Graus de liberdade para consulta em tabela, sendo:

n = número total de amostras.

Para a análise da microestrutura interna da peça e dureza, os corpos foram cortados ao meio, vagarosamente, assim a região interna da peça manteve-se preservada. Utilizou-se o equipamento Cut-Off modelo Pan Cut 30 (máquina de corte metalográfica). Para tal, as peças foram fixadas na morça do equipamento e cortadas delicadamente com, em média, 0,13 mm por passo. O fluido refrigerante utilizado no resfriamento do corte foi uma mistura de óleo e água de vazão volumétrica constante. O embutimento das peças em baquelite foi iminente para a realização da análise metalográfica. Embutidora é um equipamento que submete a resina fenólica termoplástica até seu ponto de fusão a uma determinada pressão envolvendo o componente a ser medido. Foi utilizada a embutidora Fortel 30, para conformação do corpo com o auxílio de baquelite (polioxibenzimetilenglicolanidrido). Colocou-se a peça em um moldador da máquina e acrescentou-se a baquelite submetidos a uma pressão máxima de 2000 kgF/cm² em uma temperatura de 110 °C por 11 minutos. Já o tempo de resfriamento, ocorrido em água corrente, a pressão atmosférica, foi de 5minutos.

O processo de lixamento aconteceu com o auxílio de um equipamento chamado lixadeira e politriz, que rotaciona a lixa com um determinado rpm onde se pressiona o componente a ser lixado, desbastando-o e deixando com um bom acabamento superficial. Utilizou-se a lixadeira Fortel PLF de forma crescente (lixas com granulometria #180, #220, #320, #400, #600 e #1200) com 200 rpm, removendo parte das imperfeições visíveis da amostra antes do polimento.

Realizou-se o polimento para que não houvesse nenhuma refração ao analisar a estrutura no microscópio. Nesta etapa utilizou-se duas politrizes, sendo uma com pano de algodão e pasta diamantada de três micrômetros e outra com um pano de algodão e pasta diamantada de seis micrômetros e suas respectivas pastas diamantadas.

As amostras foram submetidas a um ataque superficial, método que utiliza uma solução de 98% de álcool etílico puro e 2% de ácido nítrico, submergindo-as por um tempo médio de 5

segundos, com o objetivo de corroer a superfície para que sua estrutura fosse visível através do microscópio, e esta corrosão ocorre quimicamente, ou seja, com contato direto entre o material e o agente corrosivo, sem presença de eletrólito (solução aquosa) e sem formação de corrente elétrica.

Após a realização da têmpera das amostras, foi feito o ensaio de dureza Rockwell C, onde o corpo de prova é submetido a uma endentação através de um cone de diamante. Ele realiza uma força contra a superfície do corpo de prova com uma pré-carga chamada de Fo, que no Rockwell C é de 10kilogramas-força. Assim que o equílibrio é atingido, um dispositivo segue os movimentos do endentador e responde às variações de profundidade e penetração, sendo levado a posição zero. Ainda com uma pré-carga sendo executada, uma segunda carga é aplicada na ponta de teste resultando em um aumento na penetração, o valor padrão utilizado foi de 150 kgf. Novamente após o equilíbrio, a carga é removida mantendo-se a pré-carga, essa remoção da força aplicada (carga) resulta em uma recuperação parcial, reduzindo a profundidade da penetração (Guru, 2016).

Com o auxílio de um microscópio óptico, foi utilizado o método de análise microestrutural para averiguar se houve concentração de Martensita, formação de Bainita ou até mesmo se aconteceu alguma reação entre as amostras e os nanotubos de carbono, lembrando que o objetivo em um ensaio de têmpera é que haja uma boa concentração de martensita de forma homogênea em sua estrutura (CHIAVERINI, 1970).

Para avaliação das amostras, utilizou-se um microscópio Olympus BX60M que possui uma câmera é conectada a um computador. O microscópio foi ajustado para 100x o que corresponde a uma ampliação de 1000x, por conta da lente do microscópio ter um zoom natural de 10x.

Para obter-se as fotografias das estruturas, utilizou-se a câmera integrada no microscópio, que é ligada no computador e através do software TSVIEW 7 realizou-se as fotos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com inúmeras análises de microestrutura e dureza, além de observações conceituais de outros autores, os NTCs foram diluídos em água com as concentrações de 0,05%, 0,1% e 0,2%. A partir do ensaio de dureza foi realizado o comparativo entre o corpo de prova tratado com

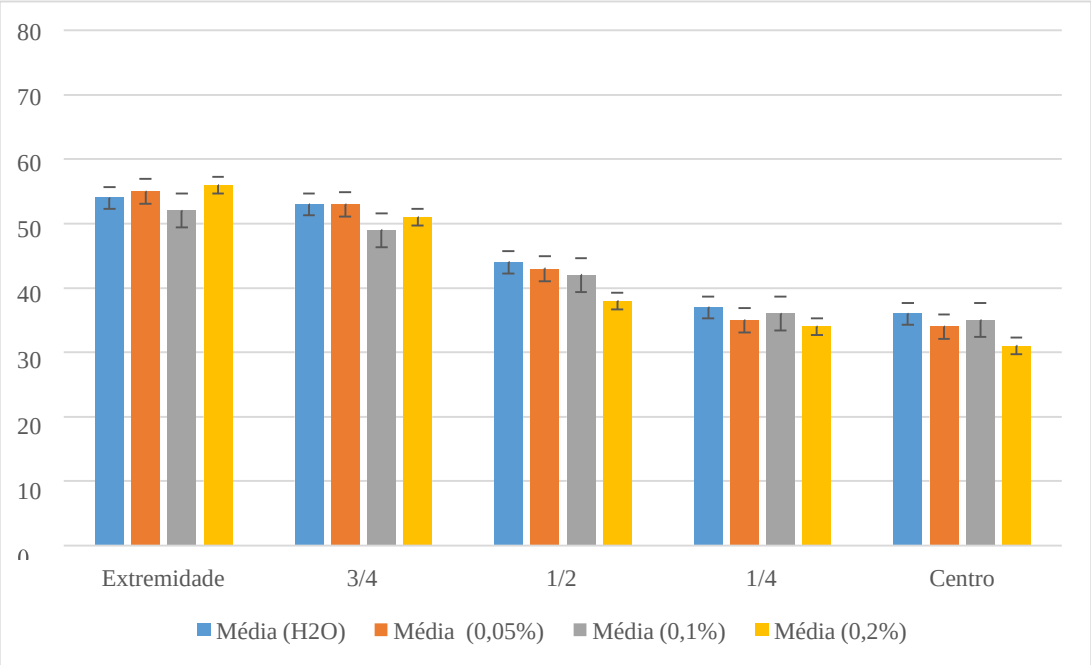
água e os corpos de prova tratados com nanofluidos, nas seguintes dimensões: na extremidade do raio, ¾, ½, ¼ em relação a superfície e no núcleo.

Os resultados encontrados indicaram que não houve alteração na dureza, somente uma tendência de melhora na dureza na superfície do aço, porém quando avaliou-se as demais dimensões percebeu-se que não houve um valor expressivo, isso se explica pelo fato das superfícies das peças estarem em contato diretamente com o nanofluido sendo elas as únicas que obtiveram valores de dureza maiores que a concentração de água, porém não significantes, conforme tabela 1 , tabela 2 e Figura 1.

Tabela 1– Análise da média das durezas medidas em Rockwell C

Comprimento	Média (H_2O)	Média (0,05%)	Média (0,1%)	Média (0,2%)	Desvio Padrão
Extremidade	54	55	52	56	1,71
3/4	53	53	49	51	1,91
1/2	44	43	42	38	2,63
1/4	37	35	36	34	1,29
Centro	36	34	35	31	2,16

Figura 1 – Ilustração gráfica da comparação de corpos e seus respectivos desvios padrões.



Fonte: autores

Tabela 2 – Comparação de concentração x dureza.

	H2O		0,05%		0,10%		0,20%	
Localidade	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 1	G
Extremidade	55	53	55	53	54	53	56	5
3/4 de raio	53	52	53	52	51	50	51	51
1/2 raio	43	43	43	43	44	42	40	3
1/4 de raio	37	36	35	36	37	36	35	3
Centro	36	35	35	35	35	35	31	3

O teste t de Student ou somente teste t é um teste de hipótese que usa conceitos estatísticos para rejeitar ou não uma hipótese nula quando a estatística de teste segue uma distribuição t de Student. O Teste t também pode ser usado para testar a significância de coeficientes de regressões. Em geral esse teste é usado para confirmar se a variável que está sendo usada na regressão está realmente contribuindo para a estimativa. Foi realizada a média das três medições das amostras analisadas, e os resultados foram os seguintes:

O valor t calculado encontra-se dentro da zona de tcrit, que é -2,306 até 2,306, de acordo com a figura 4, portanto, o teste e respectivas medições de dureza estão validados.

De acordo com as tabelas 3, 4, 5 e 6 observa-se os resultados obtidos com o teste t de student, onde adotou-se o nome de "grupo" para cada amostra.

Tabela 3 – Resultados do teste T de Student (H2O).

		H_2O		
Durezas		**Teste T**		
Grupo 1	**Grupo 2**	**Média G1**	**Média G2**	**Variância combinada**
55	53	42,6	43,8	1,1
53	52	**∑médiaG1²**	**∑médiaG2²**	**Teste T**
43	43	9523	9361	0,9
37	36	**VariânciaG1²**	**VariânciaG2²**	**Graus de Liberdade**
36	35	62,56	58,16	8

Fonte: autores

Tabela 4 – Resultados do teste T de Student (0,05%).

0,05%				
Durezas		**Teste T**		
Grupo 1	**Grupo 2**	**Média G1**	**Média G2**	**Variância combinada**
55	55	44,2	43,2	6

53	51	**∑médiaG1²**	**∑médiaG2²**	**Teste T**
43	41	10133	9688	0,166
35	35	**VariânciaG1²**	**VariânciaG2²**	**Graus de Liberdade**
35	34	72,96	71,36	8

Fonte: autores

Tabela 5 – Resultados do teste T de Student (0,1%).

0,1%				
Durezas		**Teste T**		
Grupo 1	**Grupo 2**	**Média G1**	**Média G2**	**Variância combinada**
54	53	44,2	43,2	5,2
51	50	**∑médiaG1²**	**∑médiaG2²**	**Teste T**
44	42	10047	9594	0,192
37	36	**VariânciaG1²**	**VariânciaG2²**	**Graus de Liberdade**
35	35	55,76	52,56	8

Fonte: autores

Tabela 6 – Resultados do teste T de Student (0,2%).

0,2%				
Durezas		**Teste T**		
Grupo 1	**Grupo 2**	**Média G1**	**Média G2**	**Variância combinada**
56	56	42,6	42,6	6,73
51	51	**∑médiaG1²**	**∑médiaG2²**	**Teste T**
40	38	9523	9361	0,059
35	34	**VariânciaG1²**	**VariânciaG2²**	**Graus de Liberdade**
31	32	89,84	91,36	8

Fonte: autores

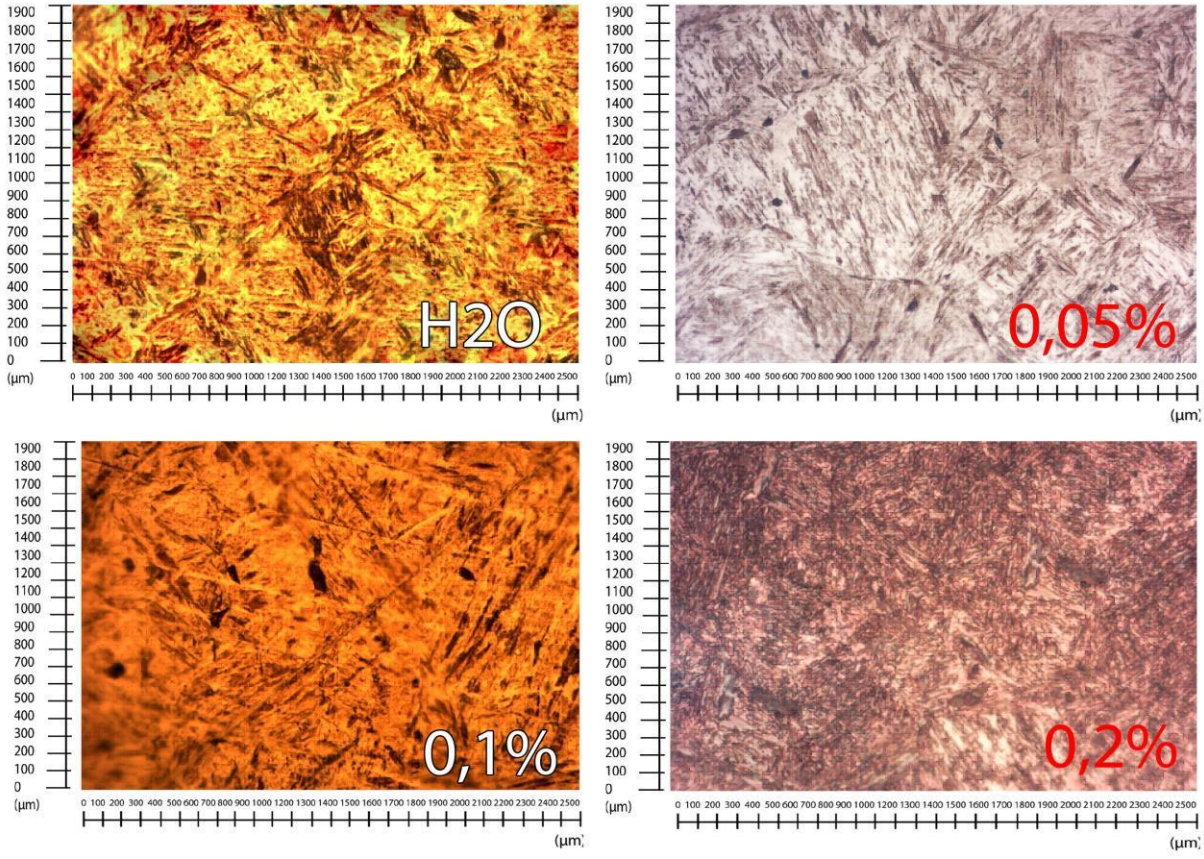
Analisando-se os possíveis fatores que influenciaram esses resultados, partiu-se dos seguintes princípios:

A possibilidade da criação de uma camada de bolhas entre o corpo de prova e a água, mesmo com a agitação constante manual; impedindo-se que houvesse uma eficiente troca de calor entre a peça e o meio de resfriamento.

Pelas partículas serem hidrofóbicas houve aglutinação. Mesmo com a constante agitação mecânica por aproximadamente 10 minutos, usando-se uma parafusadeira e agitador de argamassa, percebeu-se a presença de alguns "grãos de NTCs" que não separou-se mesmo com uma agitação mecânica brusca;

Para maior veracidade nos resultados encontrados observaram-se as microestruturas dos corpos de prova comparando o ensaio realizado com água e com os nanofluidos. Conforme as figuras 2 a 6. Na figura 2 comparou-se o ensaio de H_2O junto às três concentrações de NTCs com foco nas extremidades das amostras, há a predominância de martensita, que são constituídas por grãos em formato de agulha. As regiões brancas são austenitas não formadas com o resfriamento rápido. Já em 0,2%, há a predominância de perlita fina, pois as agulhas contidas nesta são mais acentuadas (COLPAERT, 2008).

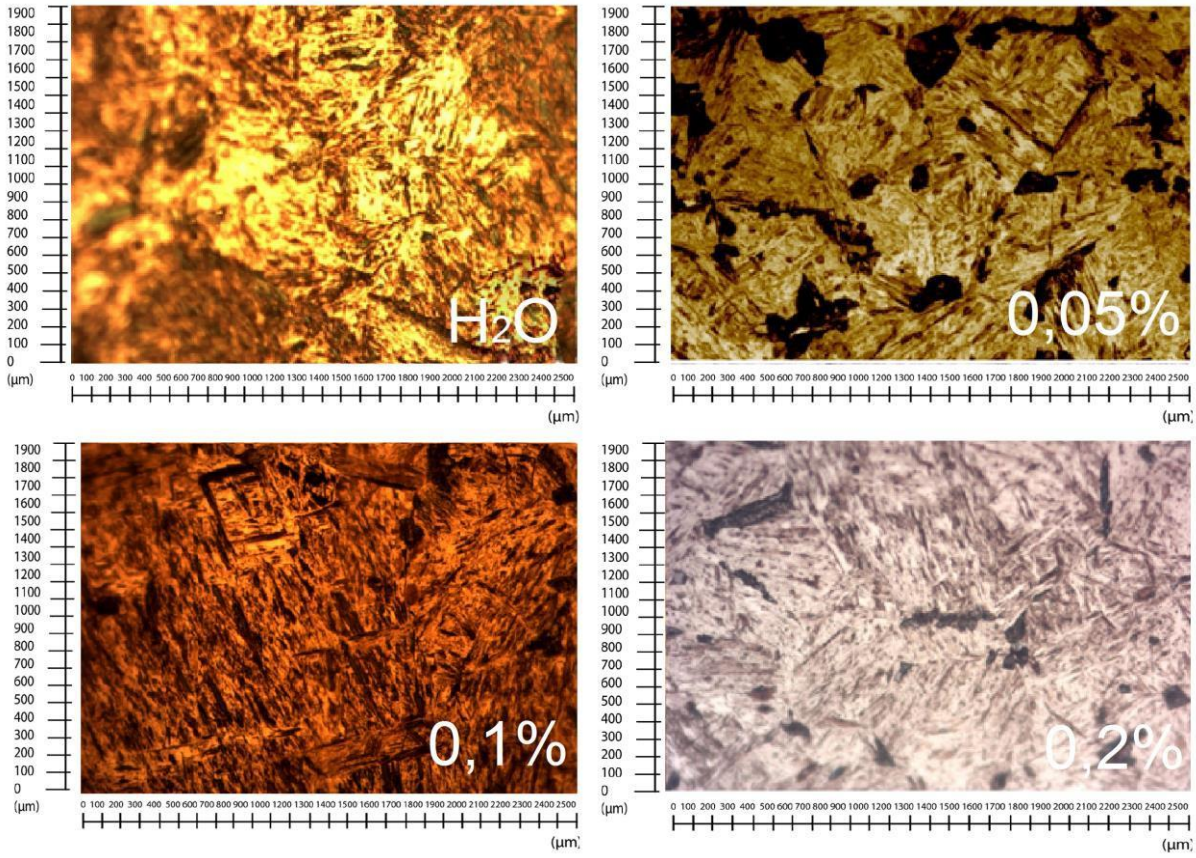
Figura 2– Comparação das microestruturas das extremidades das peças.



Fonte: autores

Na figura 3 comparou-se o ensaio de H_2O junto às três concentrações de NTCs com foco a ¾ das amostras, há a predominância de bainita superior na têmpera com H_2O, pois a estrutura é composta por "pacotes" de cristais de ferrita paralelos entre si (COLPAERT, 2008). A 0,05%, há a predominância de bainita, porém nota-se índice considerável de perlita, que é a ocorrência dos "pacotes" de cristais e colônias lamelares (COLPAERT, 2008). Em 0,1% e 0,2%, a estrutura é bainítica em sua totalidade.

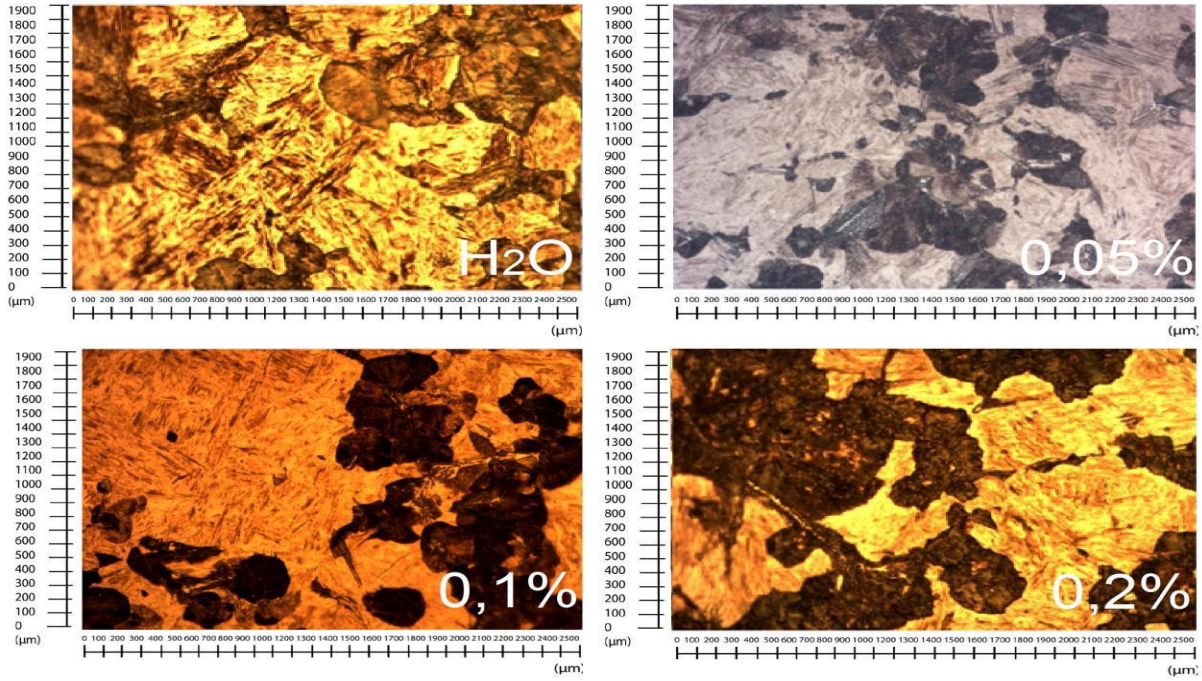
Figura 3 – Comparação das microestruturas das peças a ¾ de raio.



Fonte: autores

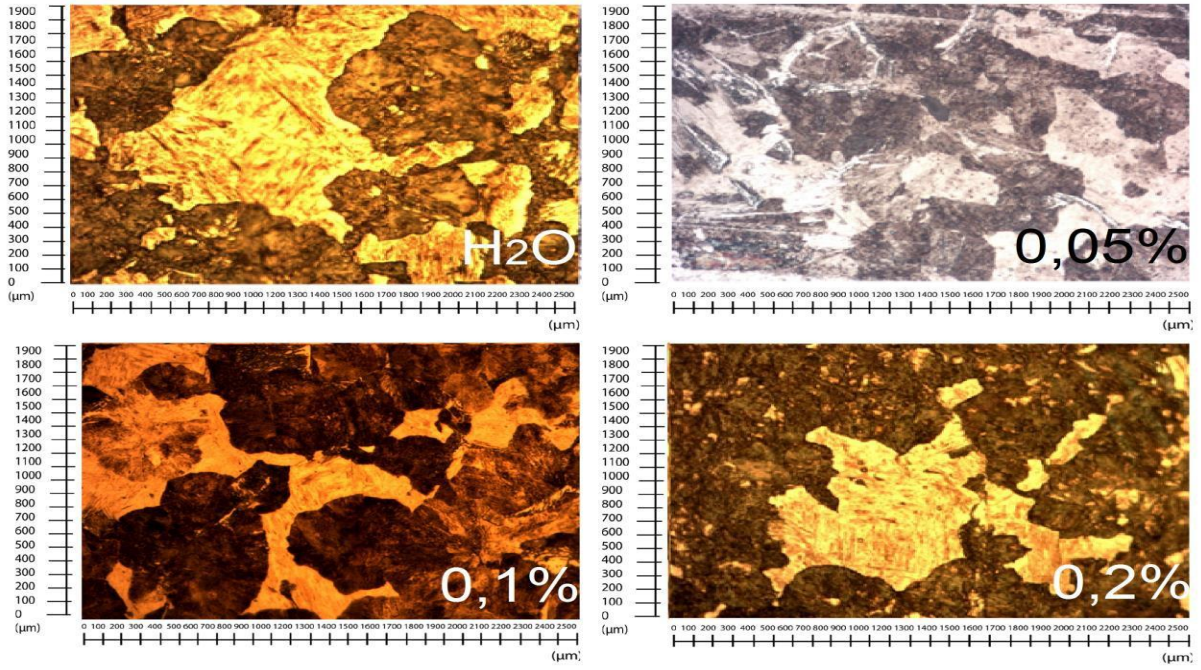
Na figura 4 comparou-se o ensaio de H_2O junto às três concentrações de NTCs com foco a ½ raio, há a predominância de perlita na têmpera com H_2O, 0,05%, 0,1% e 0,2%.

Figura 4 – Comparação das microestruturas das peças a ½ raio.



Fonte: autores

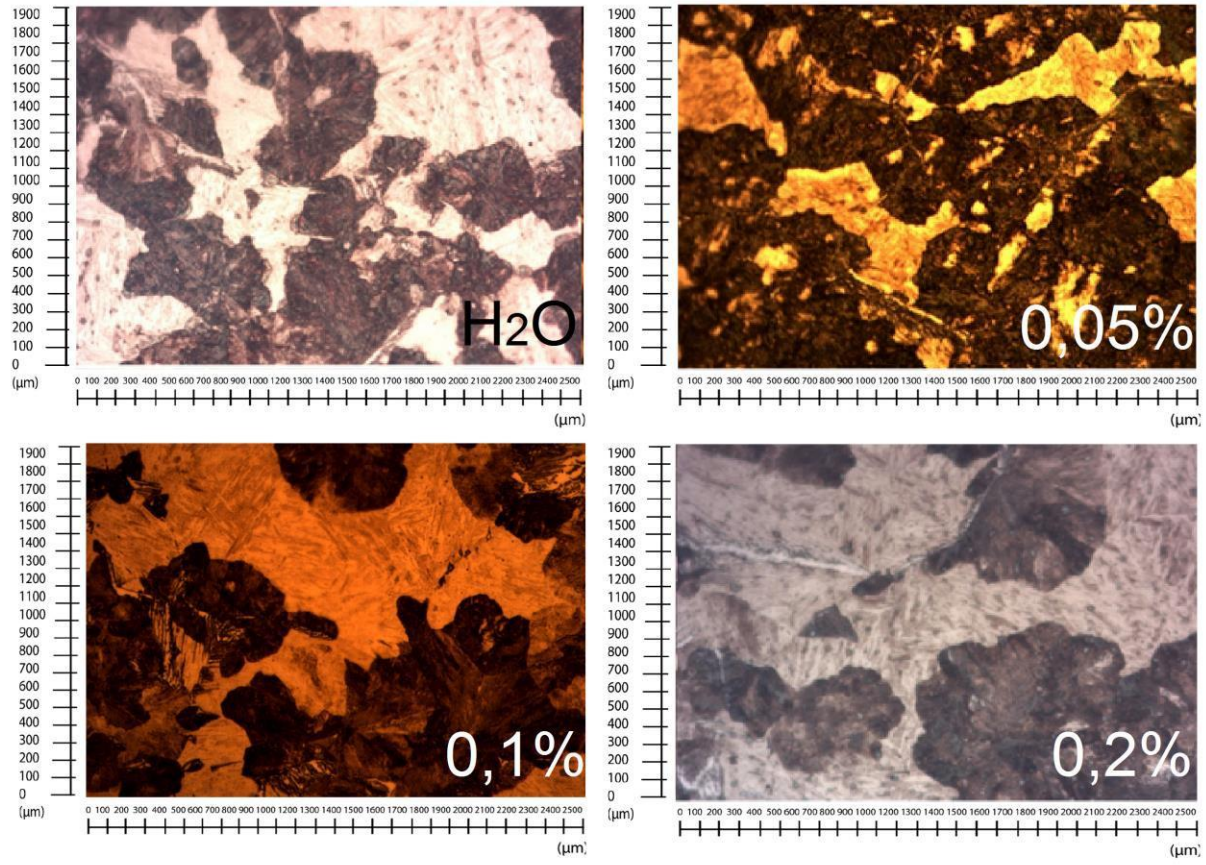
Na figura 5 comparou-se o ensaio de H_2O junto às três concentrações de NTCs com foco a ¼ do raio das amostras, há a predominância de perlita na têmpera com H_2O, 0,05%, 0,1% e 0,2%.



Fonte: autores

Na figura 6 comparou-se o ensaio de H_2O junto às três concentrações de NTCs com foco no raio das amostras, há a predominância de perlita na têmpera com H_2O, 0,05%, 0,1% e 0,2%.

Figura 6 – Comparação das microestruturas no centro da peça.



Fonte: autores

As maiores mudanças serão vistas nas camadas mais externas da peça. Pode ser analisado que houve uma pequena mudança na superfície, mas a estrutura se mantém imutável a partir de ¾ do raio da peça. Vale lembrar que foram usados dois modelos de microscópio diferentes, portanto a coloração e a resolução das fotos podem variar.

Com os resultados alcançados, concluiu-se que existem possíveis melhorias a serem implantadas a fim de obterem-se benefícios no processo descrito e assim chegando em valores mais expressivos, são eles:

- Inclusão de gás inerte no forno para evitar a descarbonetação da superfície;
- Utilização de uma substância solubilizante em conjunto com uma cuba de ultrassom, para melhor dispersão dos nanotubos em água;

- Realizar teste de Jominy, caso houvesse maior quantidade de nanopartículas disponíveis, por se tratarem de dados mais palpáveis e conhecidos no mundo acadêmico.

CONCLUSÃO

Após serem feitos testes metalográficos e de dureza, com os resultados obtidos, foi possível analisar que a diferença do ensaio com o uso de nanofluidos e sem ocorre em uma proporção pequena, podendo ser explicado pela variação do processo e não por uma interação do uso dos nanotubos de carbono.

Partiu-se da premissa de que por ser um bom condutor de calor, pois são pequenos e possuem uma grande área de superfície o que resultaria em uma boa condução de uma área para outra, os nanotubos de carbono iriam acarretar em uma maior transferência entre a peça a ser resfriada e o líquido usado como refrigerante.

Como observou-se nos resultados obtidos, há possibilidades de melhoras para um futuro teste o que pode-se trazer resultados mais expressivos, em caso de mudanças em parâmetros do processo que foi sugerido, porém as mudanças no processo podem deixá-lo mais custoso e envolver o uso de equipamentos de laboratório mais sofisticados, dos quais não teve-se acesso.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6339: aço - determinação da temperabilidade (Jominy). Rio de Janeiro, 1989.

CALLISTER, William D., Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 7. ed. São Paulo: LTC, 2008.

CASTRO, Bruno; Estudo de nanofluidos para aplicação em têmpera. 2017. 89f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

CHIAVERINI, Vicente; Tecnologia mecânica - Volume I. São Paulo - SP, Brasil. McGraw-Hill, 1977.

CHIAVERINI, Vicente; Tecnologia mecânica - Volume II. São Paulo-SP, Brasil. McGraw-Hill, 1978.

CHIAVERINI, Vicente; Tecnologia mecânica - Volume III. São Paulo-SP, Brasil. McGraw-Hill, 1986.

CHIAVERINI, Vicente; Aços e ferros fundidos: Características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos – 7.ed. ampl. e rev. - São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2005.

CHOI, Stephen U.S.; Eastman, J.A.; Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. 8f. Artigo - U.S Department of Energy, ASME FED 231, 1995

COLPAERT, Humbertus; Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns.

São Paulo - Brasil. Edgard Blucher., 1951.

DAS, Sarit K; CHOI, Stephen U. S.; YU, Wenhua; PRADEEP, T.; Nanofluids, science and technology. New Jersey – USA. John Wiley & Sons Inc., 2007.

DUBIELA, Bruno Leonardo; Construção do equipamento de ensaios de temperabilidade do tipo Jominy empregando o aço SAE 1045 como objeto de estudo. 2016. 44f. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina - PR. 2016.

MARTINEZ, Isidoro; Heat and Mass Transfer. 27f. Artigo - Universidad Politécnica de Madrid, p. 1-21, 1995.

MONDRAGON, Rosa; BOLIVAR, Julia; Enrique, José; BARBA, Antonio; JARQUE, Juan Carlos; Characterization of silica – water nanofluids dispersed with an ultrasound probe: A study of their physical properties and stability. 9f. Artigo - Universitat Jaume I, Castellón, 2012.

SIQUEIRA, Bernardo Fiorenza; Projeto, construção e teste de um aparato jominy para ensaios de temperabilidade. 2018. 54f. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal do Pampa, Rio Grande do Sul, 2018.

XUAN, Yimin, LI, Qiang; Heat transfer enhancement of nanofuids. 7f. Artigo - International Journal of Heat and Fluid Flow v.21, 2000.

YU, Boming; XU, Peng; The effective thermal conductivity of nanofluids based on the nanolayer and the aggregation of nanoparticles - 9f. Artigo - Journal of Physics D Applied Physics · May 2007.