

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO ABNT 4140 COM E SEM TRATAMENTO SUPERFICIAL POR MEIO DE ENSAIOS DESTRUTIVOS

Leonardo Oliveira Miranda
Diego Silva dos Reis
Gabriel Victor Alves Nascimento
Ayrton Hugo de Andrade e Santos
José Rubens Gonçalves Carneiro

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, R. Dom José Gaspar, 500 - Coração Eucarístico, Belo Horizonte - MG, 30535-901

leonardo-986@hotmail.com; contatodiego.reis@gmail.com; gabrielvnasc13@gmail.com;
ayrtonhugo@pucminas.br; joserub@pucminas.br.

Resumo: A avaliação de propriedades mecânicas se baseia na solicitação imposta e da resposta emitida pelo material. Neste sentido, este estudo teve por objetivo caracterizar o comportamento do aço ABNT 4140 nas condições de laminado a quente e nitretado, quando submetido às solicitações mecânicas experimentais de tração uniaxial, torção. Foram realizados os ensaios metalográficos e análise de fratura, avaliando a influência do tratamento termoquímico de nitretação em banho de sal nas propriedades mecânicas no aço ABNT 4140 nessas condições. Os resultados permitiram ilustrar que as características do aço ABNT 4140 nitretado quando submetido à tração apresentaram uma redução no patamar de escoamento quando comparado com a condição de laminado a quente. O módulo de elasticidade longitudinal para o aço ABNT 4140 laminado a quente foi de 196,1 GPa, quando o nitretado foi de 238,4 GPa. O aço ABNT 4140 nitretado se apresentou mais rígido. Os coeficientes de Poisson foram, respectivamente, de 0,2956 e 0,3092 para o aço ABNT 4140 nitretado e laminado a quente. Pode-se afirmar desta forma que os valores dos módulos de elasticidade aumentaram na mesma proporção. Com as análises de torção evidenciou-se que o módulo de elasticidade transversal apresentou um comportamento similar ao módulo de elasticidade longitudinal, onde os valores da amostra nitretada tiveram um aumento de 20% em relação a amostra laminada a quente. A fratura deste aço foi avaliada em MEV, evidenciando a presença de dimples (fratura dúctil) na condição de laminado a quente, e, ao contrário, maclas de clivagem na condição de nitretado com nucleação na região da camada nitretada o que reduziu a plasticidade e a deformação máxima.

Palavras-chave: Ensaio Mecânico; Análise Experimental; Fabricação

1. INTRODUÇÃO

Em inúmeras aplicações na indústria em geral é fundamental entender o comportamento dos materiais mediante a aplicação dos diferentes tipos de esforços mecânicos, isto pois diversos materiais utilizados possuem comportamentos diferentes por exemplo em eixos de automóveis, engrenagens, parafusos e entre outros.

A necessidade de caracterizar um material permite conhecer sobre as características principais em que é possível prever o comportamento do mesmo mediante aos esforços aplicados quanto a sua estrutura, propriedades, processamento e aplicação permitindo uma adequada seleção do material a um produto final. (CALLISTER, 2016).

MITTEMEIJER(2013) afirma que a nitretação está entre os tratamentos superficiais mais efetivos. Os principais benefícios da nitretação aos aços são o aumento da dureza, resistência ao desgaste, resistência à fadiga e resistência à corrosão. A nitretação gera uma camada de compostos, com propriedades mecânicas bem distintas do material base, conforme citado por BRINKSMEIER, et al. (2013).

A técnica para a caracterização dos materiais é realizada através de uma série de testes e ensaios experimentais a fim de determinar principalmente as propriedades mecânicas. Dentre os ensaios de caracterização é possível citar os principais ensaios mecânicos: tração, torção, compressão e dureza, assim como das análises metalográficas como por exemplo o MEV (Microscopia eletrônica de varredura), MET (Microscopia eletrônica de transmissão), AFM (Microscopia de força atômica) além de Ensaios Térmicos e Químicos. A obtenção desses dados é de suma importância para realização de projetos quando submetido aos esforços de torção e tração principalmente em máquinas sujeitos a este esforço.

Neste sentido, esse artigo tem o objetivo apresentar a caracterização do comportamento da liga de Aço ABNT 4140 com e sem tratamento superficial quando submetido aos esforços de tração e torção, bem como analisar a influência do tratamento térmico de nitretação na curva característica do módulo de cisalhamento, do módulo de elasticidade e a influência sobre o módulo de Poisson.

2. MATERIAIS E METODOS

A grande aplicabilidade das ligas metálicas combinadas com uma boa correlação entre as propriedades mecânicas como resistência a fratura e resistência mecânica aliada ao seu desempenho, faz com que este material seja bastante interessante.

O tratamento termoquímico de nitretação, é realizado com objetivo de conferir ao material um endurecimento superficial ocasionado pelo incremento de nitrogênio em sua superfície, nesse processo o aço é aquecido a uma temperatura podendo variar de 500°C a 600°C em um ambiente nitrogenoso. (CHIAVERINI, 1986).

Para aferir as propriedades mecânicas características do material quando submetidos a carregamentos de tração e torção pura, foram preparadas amostras do aço 4140 na condição laminado a quente e Aço ABNT 4140 nitretado à banho de sal.

O material foi obtido em barras de perfil circular sendo cortada e usinada segundo os perfis dos corpos de prova dos ensaios realizados na própria instituição PUC Minas seguindo as quantidades conforme Tab.1. Já o tratamento de nitretação foi realizado em parceria com a empresa Metaltemper. Foram fabricados um total de 6 amostras para cada tipo de situação, perfazendo um total de 12 amostras. A Tab. 2 apresenta a composição química do aço ABNT 4140.

Tabela 1: Caracterização Mecânica e quantificação dos corpos de prova

Material	Ensaio Mecânico	Seção transversal	Quantidade de amostras	Nomenclatura
AÇO 4140 Sem tratamento	Tração	Cilíndrica	3	CP1_TR_S CP2_TR_S CP3_TR_S
	Torção	Cilíndrica	3	CP1_TO_S CP2_TO_S CP3_TO_S
AÇO 4140 Com tratamento	Tração	Cilíndrica	3	CP1_TR_C CP2_TR_C CP3_TR_C
	Torção	Cilíndrica	3	CP1_TO_C CP2_TO_C CP3_TO_C

Nomenclatura: CP (Corpo de prova); TO (Torção); TS (Tração); S (Sem tratamento térmico); C (Com tratamento térmico).

Tabela 2: Composição química do aço AISI 4140.

ELEMENTO	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu	N	V	P	S
%massa	0,41	0,24	0,77	1,01	0,164	0,10	0,193	0,01	0,93	0,01	0,03
AISI N	0,37- 0,44	0,15- 0,30	0,65- 1,10	0,75- 1,20	0,15- 0,25	...	...	...	...	0,035 (máx.)	0,040 (máx.)

2.1. Ensaio de tração

Para caracterização mecânica quando o material é submetido na condição do esforço de tração unidirecional foi utilizado uma prensa hidráulica servo controlada EMIC DL 20000 com capacidade máxima de 20 toneladas, que permite o controle de velocidade, realizando o ensaio de tração conforme prescrição das normas regulamentadoras, os corpos de prova, Fig. 1, são padronizados seguindo a norma ABNT 6298 (2013).

O ensaio de tração consiste em submeter o material a um esforço que tende a alongá-lo até a ruptura. (SOUZA, 1982).

O corpo de prova então é fixado nas garras da máquina e submetido ao ensaio com uma velocidade de 2 mm/s que é a mínima do equipamento e a mais segura. O software recebe os dados de força em função do deslocamento do corpo de prova e gera um arquivo de texto (.txt) salvos em um banco de dados. Desta forma os principais parâmetros obtidos são: a força aplicada (F) e o deslocamento relativo (ΔL), assim é possível calcular a tensão aplicada ao corpo de prova e a deformação, com esses dados é possível gerar uma curva de tensão *versus* deformação de engenharia característica dos materiais, possibilitando a análise e obtenção das propriedades do material.

O ensaio de tração permite a obtenção de propriedades relacionadas a capacidade do material em suportar cargas aplicadas, como por exemplo o módulo de elasticidade, tensão de escoamento, tensão limite de resistência a tração, tensão de ruptura.

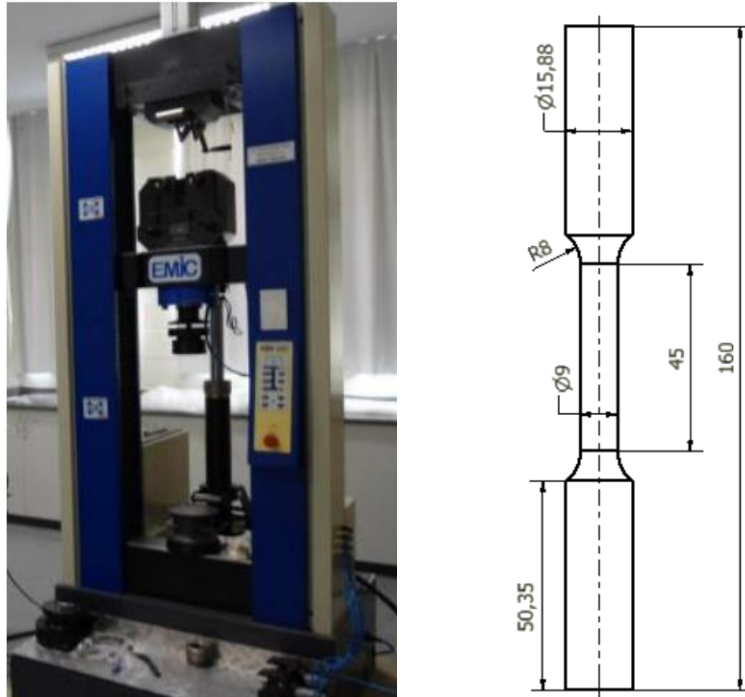


Figura 1. Procedimentos do ensaio de tração e corpo de prova padronizado

2.2. Ensaio de torção

Para a caracterização mecânica torcional foi utilizado uma máquina de ensaio de torção pura de materiais frágeis e dúcteis.

Os parâmetros obtidos pelo ensaio são: momento de torção e o ângulo de torção (θ) em cada instante até a ruptura. Com estes dados é possível plotar a curva tensão cisalhante *versus* deformação angular do material e calcular as propriedades do material. (SOUZA, 1982).

Para a realização do ensaio, o corpo de prova é fixado nas extremidades do cabeçote. A quantidade de voltas é determinada pelo encoder fixado no equipamento, sendo possível aferir a deformação angular. Os dados obtidos são transmitidos para um banco de dados. Os corpos de prova são padronizados seguindo a norma ABNT 6003 (1984) e de acordo com as especificações do sistema de fixação, deste modo a seção transversal do corpo de prova de torção é circular.

A Figura 2 apresenta execução do ensaio e a geometria do corpo de prova.

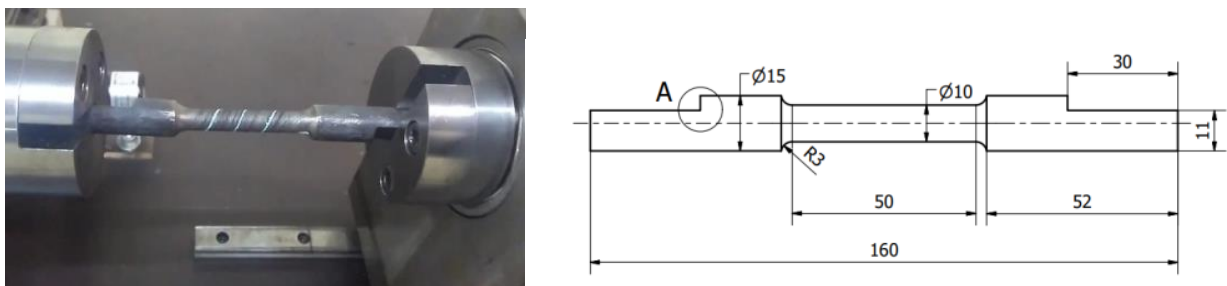


Figura 2. Procedimentos do ensaio de torção e corpo de prova padronizado

2.3. Análises Metalográficas e de fratura

Para as análises de fratura e metalografia dos corpos de prova é proposto a análise via Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV).

Inicialmente 4 amostras foram preparadas sendo que duas na condição do AÇO 4140 sem tratamento térmico e outras duas com tratamento de nitretação, as amostras foram cortadas, embutidas, lixadas com diferentes granulometrias, polidas e por fim atacadas com nital 2% reagente químico a fim de verificar os diferentes constituintes, fases e grãos que compõem o material. As diferentes fraturas obtidas em cada ensaio realizado possibilitaram uma análise com base na mecânica da

fratura, determinado o tipo de fratura, o módulo de falha, localizando o a região de início da fratura e suas características. A Figura 3 exemplifica os procedimentos para análise via MEV.

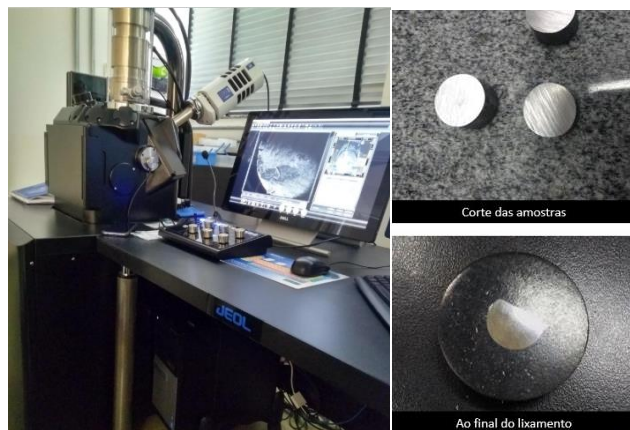


Figura 3. Procedimentos para a análise de fratura MEV

A classificação dos diferentes tipos de ruptura e baseada em função da capacidade de deformação plástica do material estudado. (CALLISTER, 2016).

2.3. Tratamento térmico

O tratamento termoquímico de nitretação foi feito na temperatura de 540 C em banho de sal durante 4 horas. (CHIAVERINI, 1996). O processo de nitretação líquida foi realizado em parceria com a empresa Metaltemper.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Resultados obtidos com ensaio de tração

Com os dados de carga aplicada e deslocamento, foi possível obter as curvas tensão versus deformação de engenharia dos materiais visando estudar o efeito da nitretação líquida por banho de sal nas principais propriedades como o módulo de elasticidade, a tensão de escoamento, o limite de resistência a tração e a ductilidade através do alongamento percentual, conforme a Fig.4.

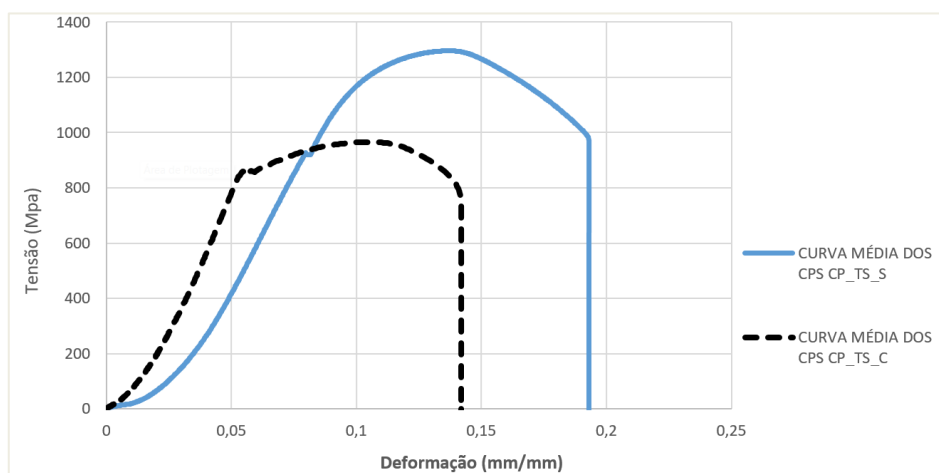


Figura 4. Comparativo da Curva Tensão versus deformação de engenharia dos materiais

Comparando os resultados do Aço ABNT 4140 Laminado a quente com o Aço ABNT 4140 nitretado na curva tensão versus deformação convencional e possível verificar que o patamar de escoamento do corpo de prova nitretado foi reduzido, isto se deve devido a formação de trincas quando o material começa a escoar, provocadas possivelmente pela existências de poros e irregularidades na camada nitretada, desta forma consequentemente o limite de resistência a tração é menor, indicando que o material ficou menos resistente a tração, o aumento de dureza superficial é notado pela diminuição da ductilidade do 4140 nitretado consequentemente o campo plástico de formação do material nitretado é menor, enquanto a deformação máxima do laminado a quente e de aproximadamente 0,2 o material nitretado é de 0,14..

Os módulos de elasticidade dos materiais foram obtidos através de uma regressão linear no regime elástico das curvas. O resultado obtido para o Aço ABNT 4140 laminado a quente obtido foi de 196,1 GPa em média com desvio padrão de 10,8 MPa enquanto para o material tratado foi de 238,4 GPa. Sabendo que o módulo de elasticidade é um parâmetro que mede a resistência a deformação elástica, seu aumento indica que o material nitretado ficou mais rígido, isto significa que para uma mesma carga aplicada o material nitretado deforma menos elasticamente.

A razão entre o módulo de elasticidade longitudinal nitretado com o laminado foi de 1,2157. A Tab.3. Apresenta as principais propriedades mecânicas estudadas e obtidas no ensaio.

Tabela 3: Propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração

Condição do Material	Corpo de Prova	Módulo de elasticidade (GPa)	Tensão de escoamento (MPa)	Limite de resistência a Tração (MPa)
Laminado a quente (Sem tratamento)	CP1_TR_S	189,2	710,4	1280,6
	CP2_TR_S	204,5		1295,4
	CP3_TR_S	-		1296,5
	Média	196,8		1290,8
	Desvio Padrão	10,8		8,9
Nitretado	CP1_TR_C	-	761,9	966,1
	CP2_TR_C	-		948,3
	CP3_TR_C	238,4		870,4
	Média	238,4		928,3
	Desvio Padrão	-		50,9

3.2. Resultados obtidos com ensaio de torção

Com os dados de torque e ângulo foi possível plotar a curva momento de torção *versus* ângulo de torção e a curva tensão cisalhante *versus* deformação angular do material 4140 Laminado a quente e do 4140 nitretado, conforme apresentado na Fig. 5.

Os resultados obtidos foram normalizados a partir da divisão do valor do torque em cada instante mensurados pelo valor do torque máximo, assim como o valor das deformações em cada instante pela deformação máxima, criando uma escala uniforme e padronizada. Esse procedimento foi feito entendendo que o módulo de elasticidade é uma propriedade do material. A Figura 5 apresenta a curva normalizada e comparativa entre os materiais.

A curva normalizada indica um aumento da rigidez torsional quantificada pelo módulo de elasticidade transversal que é a inclinação da reta da região elástica, assim como uma perda da resistência em função da aplicação do momento de torção máximo, também é possível comprovar uma deformação plástica mais encurtada devido a redução da ductilidade do material nitretado.

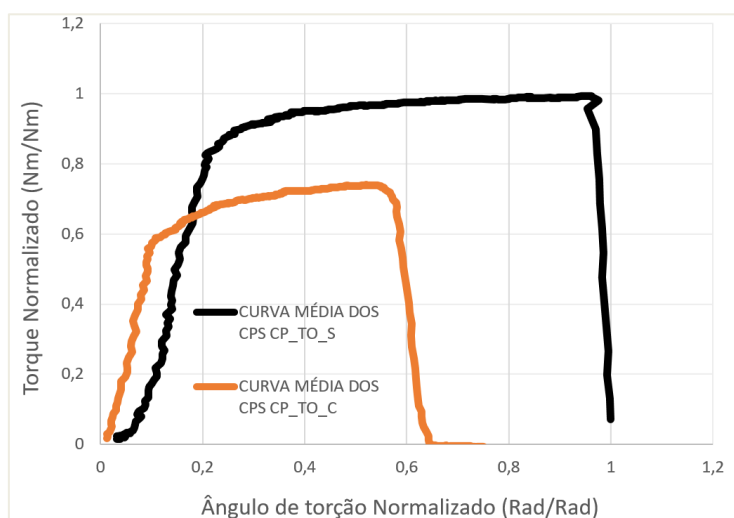


Figura 5: Comparativo da curva torque *versus* ângulo de torção normalizada

O módulo de elasticidade foi obtido pela linearização dentro da região elástica das curvas tensão cisalhante *versus* deformação angular. Desta forma, o material na condição laminado a quente apresentou um valor de 75,951 GPa, o que corrobora com a literatura. Para o material nitretado observa um aumento no seu valor, o valor encontrado foi de 91,051 GPa. A razão entre o valor do módulo de elasticidade transversal do material nitretado com o laminado a quente

foi de 1,1988, em outras palavras indica que houve um aumento de aproximadamente 20% no seu valor. As resistências ao cisalhamento dos corpos de prova ensaiados são apresentadas na Tab. 4.

Tabela 4: Propriedades mecânicas obtidas no ensaio de torção

	Corpo de Prova	Momento de torção máximo (N.m)	Limite de resistência a torção (MPa)	Deformação máxima
Condição do Material	CP1_TO_S	89,3	1776,3	0,7
	CP2_TO_S	89,1	1773,2	1,1
	CP3_TO_S	89,8	1787,8	1,2
	Média	89,4	1779,1	1,0
	Desvio Padrão	0,36	7,69	0,26
Nitretado Ø6 mm	CP1_TO_C	37,2	740,6	0,68
	CP2_TO_C	39,7	790,7	0,65
	CP3_TO_C	36,5	726,7	0,65
	Média	37,8	752,7	0,66
	Desvio Padrão	1,7	33,6	0,02

3.3. Obtenção experimental do coeficiente de Poisson

Ao realizar os ensaios de tração e torção dos materiais é possível caracterizar o material mediante a determinação experimental do coeficiente de Poisson para o material laminado a quente e o nitretado, através dos módulos de elasticidade obtido experimentalmente por ambos ensaios.

Analicamente existe uma relação entre os módulos de elasticidade E e G com o valor do coeficiente de Poisson, como a “Eq. (1)” que desta forma essas propriedades são classificadas como não independentes de um material elástico linear, ou seja, se uma delas for alterada seu valor afeta a outra propriedade. (GERE, 2018).

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (1)$$

Onde:

ν : Coeficiente de Poisson;

E : Módulo de elasticidade longitudinal (Obtido no ensaio de tração);

G : Módulo de elasticidade transversal (Obtido no ensaio de torção).

Tendo os dados obtidos nos ensaios calculou-se o valor do coeficiente de Poisson.

$$\nu = \frac{E}{2 \times G} - 1 \quad (1)$$

Para o material na condição laminado a quente:

$$\nu = \frac{(196,8) \text{ GPa}}{2 \times (75,951) \text{ GPa}} - 1 \quad (1)$$

$$\nu = 0,29557 \approx 0,3 \quad (1)$$

Para o material na condição nitretado:

$$\nu = \frac{(196,8) \text{ GPa}}{2 \times (75,951) \text{ GPa}} - 1 \quad (1)$$

$$\nu = 0,30916 \approx 0,3 \quad (1)$$

Comparando os valores obtidos experimentalmente observa-se que os resultados corroboram com a teoria o valor encontrado para o material laminado a quente foi de 0,29557 ou seja aproximadamente 0,3. O material na condição nitretado também apresentou um valor semelhante ao laminado, o valor encontrado foi de 0,3092. Desta forma pode concluir que em função do aumento dos módulos de elasticidade dos materiais que ocorrerem na mesma proporção, portanto não houve variação significativa na deformação longitudinal em relação a transversal do material laminado em comparação com o nitretado e desta forma o valor do coeficiente de Poisson dos materiais é o mesmo.

3.4. Metalografia e Análise de fratura

A Figura 6 representa a caracterização da microestrutura inicial assim como a representação da micrografia das amostras de aço ABNT 4140 nitretadas, revelando a formação da camada branca (onde a dureza não é tão elevada, mas possui alta resistência ao desgaste e à corrosão) e da camada escura onde ocorre a difusão de nitretos, ocasionando elevada dureza e bloqueio das discordâncias.

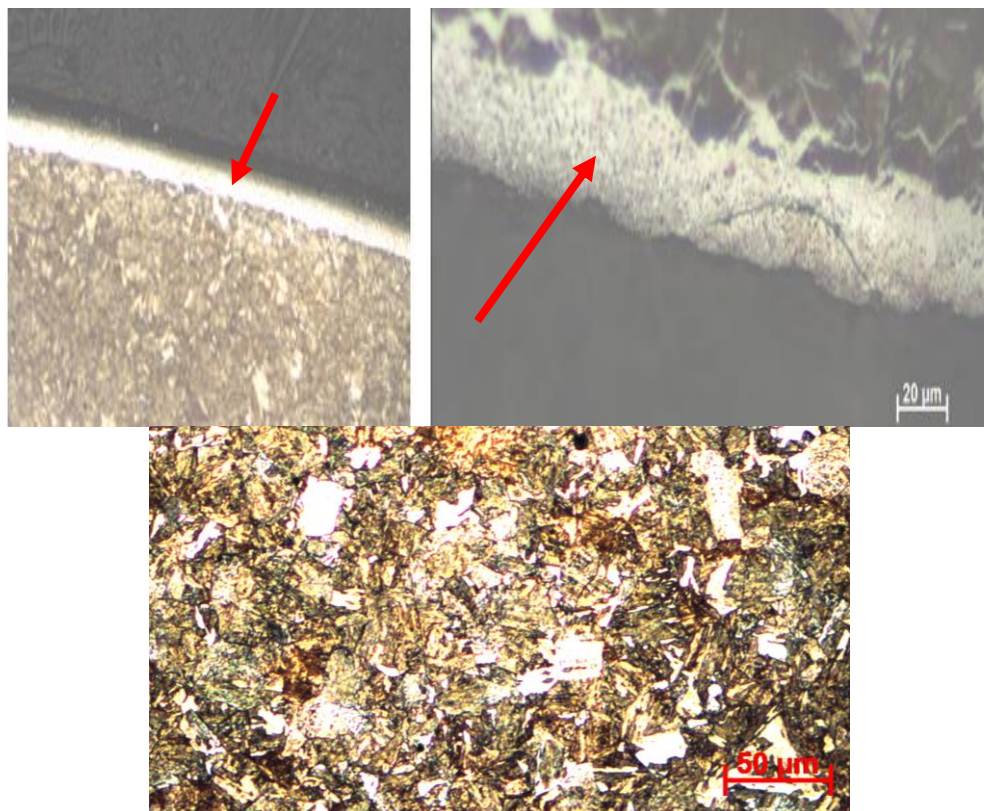


Figura 6: Microestrutura inicial e camada nitretada.

As fraturas nos corpos de prova ensaiados foram analisadas visualmente e também utilizando o MEV para realização de análises mais apuradas das concepções das fraturas obtidas em cada ensaio.

Ao analisar o material tracionado na “Fig. 7” observa-se que macroscopicamente visualmente na condição laminado a quente apresentou uma fratura dúctil do tipo taça cone, enquanto o material nitretado apresentou fratura dúctil com aspecto de cisalhamento aparente a 45°, demonstrando uma fratura de um material que sofreu baixa estrição.



Figura 7: Fratura dos corpos de prova na tração

Analisando a fratura em uma escala microscopia pelo MEV observa-se que no material laminado a ruptura iniciou-se na região central do corpo de prova, quando submetidos a esforços de tração. Analisando essa amostra com ampliação de 10x no material nitretado como na Fig. 8, verificou-se que a fratura se originou da superfície nitretada e foi se propagando pelo plano da trinca.

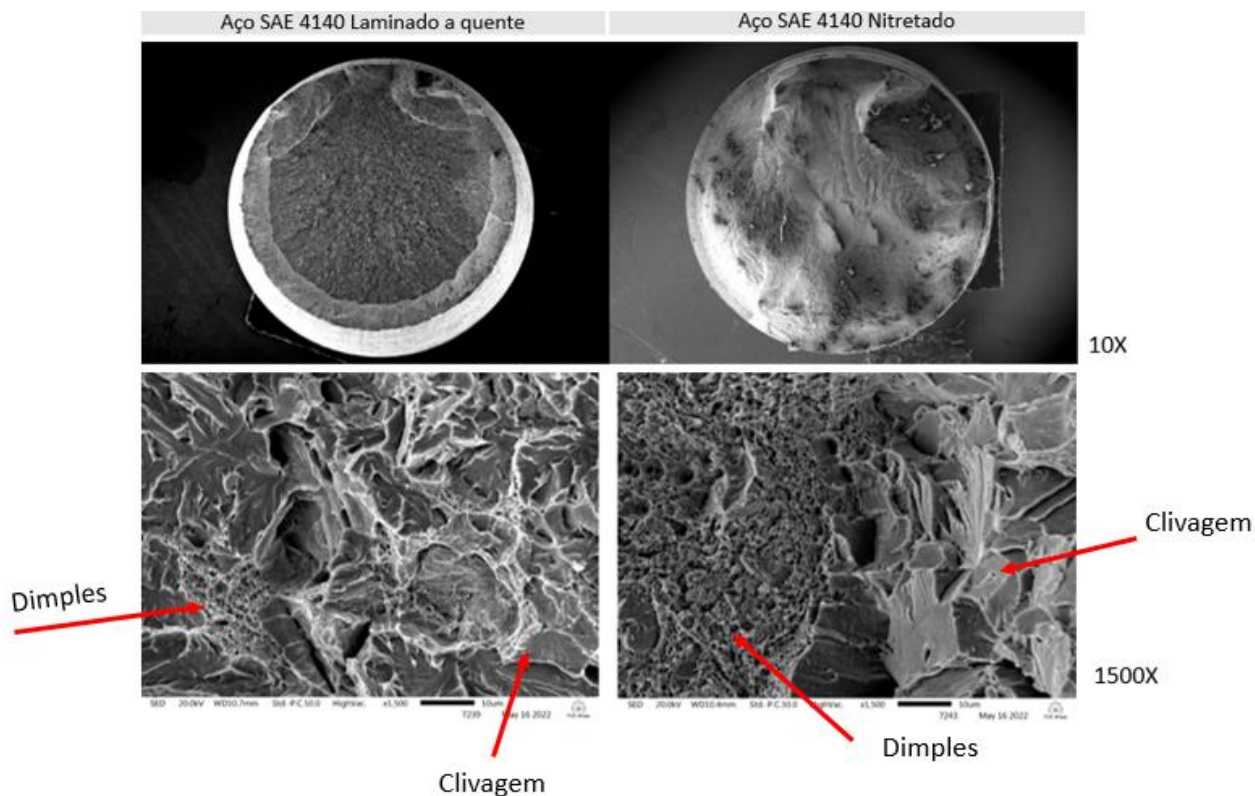


Figura 8: Análise MEV na Fratura dos corpos de prova na tração

Analisando essa amostra com ampliação de 1500x mostra-se que o material apresentou características frágeis e dúcteis, mistas, desta forma é possível verificar a presença de “dimples” devido a formação de microcavidades pela deformação plástica, aspecto característico de fratura dúctil e também observa a formação de marcas de clivagem demonstrando uma separação dos planos cristalinos com um aspecto facetado, características de uma fratura frágil.

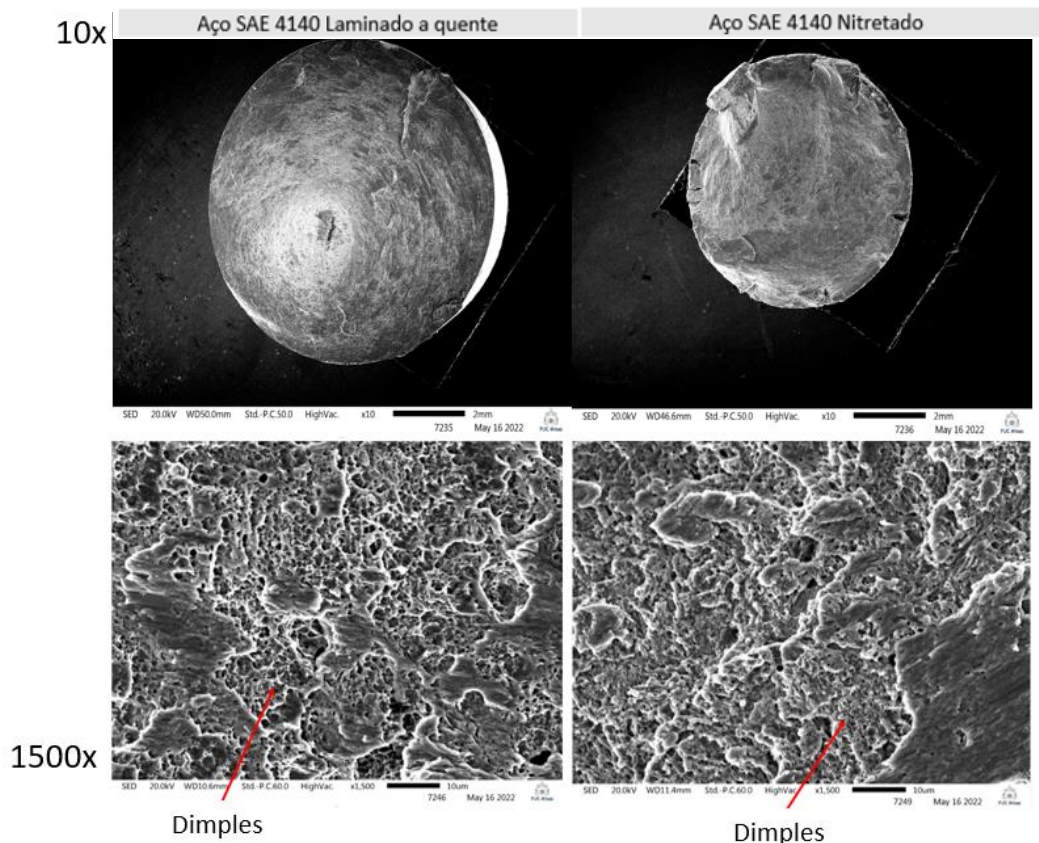


Figura 9: Análise MEV na Fratura dos corpos de prova na torção

Assim como na tração ao analisar o material na torção utilizando o MEV, vide Fig. 9, as fraturas demonstraram em geral um aspecto de fratura dúctil aparente. O material laminado a quente apresenta um aspecto plano, desenvolvido pelo cisalhamento puro. Na análise do material nitretado observa-se que a fratura indica a possível origem da ruptura provenientes de trincas geradas na superfície da camada nitretada que foram se propagando.

Analisando o material com uma ampliação de 1500X é possível verificar presença de dimples em ambas amostras, caracterizando o tipo de fratura dúctil na torção.

3.5. Análise da camada nitretada

A fim de verificar a influência da camada nitretada nos resultados obtidos dos ensaios, por meio da análise via MEV com uma aproximação de 1500x foi mensurado a espessura da camada com um valor médio de 17,99 μm .

Conforme a Figura 10 é possível visualizar a camada nitretada com detalhes, observa a presença de diversas irregularidades como formação de poros e variação de espessura ao longo da região nitretada, o que justifica a perda de resistência mecânica nos resultados encontrados.

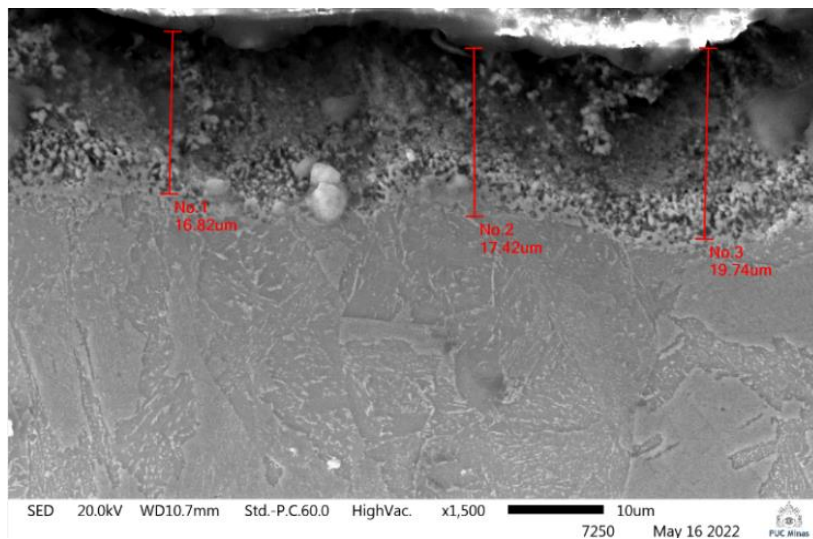


Figura 10. Espessura da camada nitretada via microscopia eletrônica de varredura

A presença de irregularidades na camada nitretada revela a dificuldade de realização do tratamento termoquímico banho de sal quando aos procedimentos estabelecidos, nesse sentido a principal preocupação de estudar a nitretação é melhorar o desempenho mecânico do material usando tratamento de superfície melhorando resistência, comportamento ao desgaste, microestrutura, vida à fadiga (GHELLOUD et all, 2017). Porém os resultados encontrados indicam que em função da formação de irregularidades na camada nitretada afetam o desempenho esperado.

Utilizando a técnica da Espectroscopia por energia dispersiva (EDS) durante a análise no MEV encontrou-se a presença dos elementos Fe, O, C, e N conforme na Fig. 10. Desta forma pode-se afirmar a presença destes elementos nesta região analisada porém não se pode afirmar que os percentuais encontrados na Fig. 11, pois a análise realizada sob a amostra permitiu identificar os elementos presentes na região do espectro.

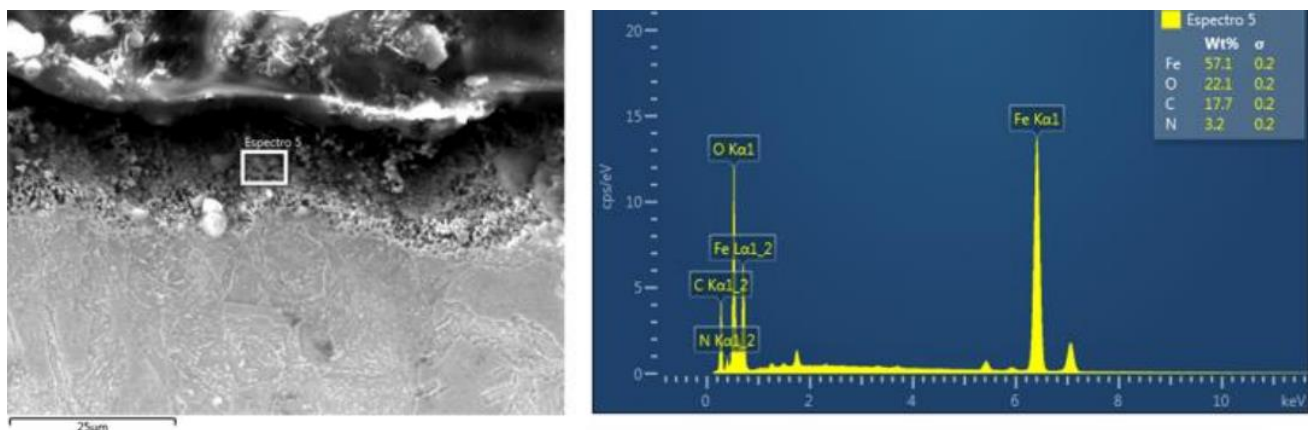


Figura 11. Análise EDS

3.6 Dureza

A dureza do material conceitua a capacidade do material em resistir a deformação plástica localizada, ou seja, resistência a penetração. Esta propriedade é bastante importante visto que a resistência ao desgaste é correlacionada diretamente com a dureza do material. Neste sentido o tratamento termoquímico de nitretação se correlaciona em geral com o aumento da dureza superficial do material até uma profundidade do material, que consequentemente conceitua uma melhora na resistência ao desgaste.

Tais aspectos são apresentados por Silva et al. (2018) ao estudar o efeito da resistência ao desgaste do aço ABNT 4140 nitretado no Ensaio de desgaste (Pino sobre disco) observou uma redução no valor coeficiente de atrito do material nitretado caracterizado pelo aumento de dureza superficial.

Para avaliar a influência do tratamento termoquímico de nitretação no endurecimento superficial foi realizado o ensaio de microdureza Vickers ($HV_{0,2 \text{ kgf}}$) ao estudar a evolução da dureza superficial em função da distância da borda das amostras nas condições de laminado a quente e nitretado em banho de sal. (Figura 12.a)

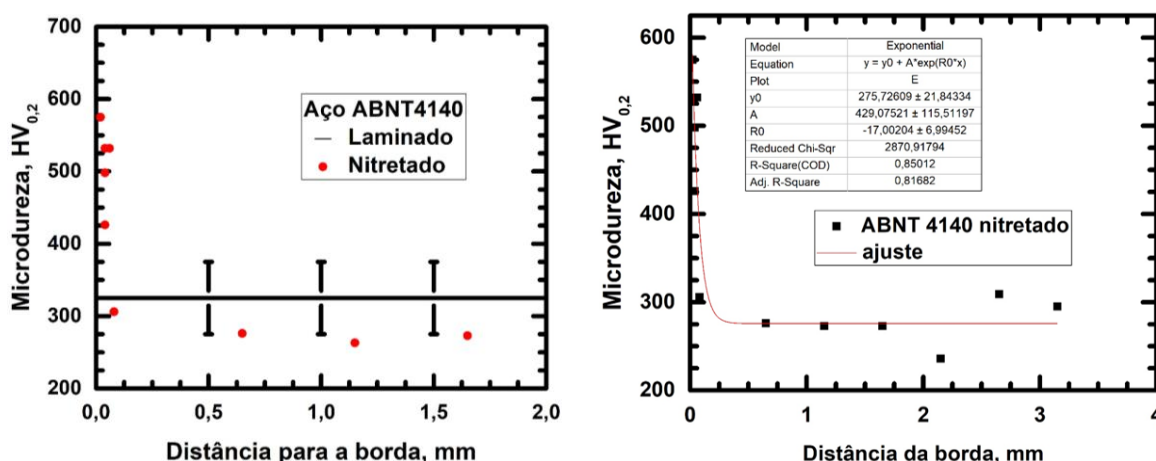


Figura 12. Ensaio de Microdureza Vickers

Os resultados comprovam que na medida com a distância se aproxima da borda da amostra nitretada a microdureza aumenta até 575 micro HV. Ao realizar o ajuste exponencial dos dados na escala da abscissa de 0 a 4 mm é possível obter o comportamento do endurecimento na camada nitretada, representada por uma reta média horizontal e o desvio padrão. (Figura 12.b)

4. CONCLUSÃO

Avaliando os resultados obtidos, as análises do ensaio de tração evidenciaram uma redução no patamar de escoamento da amostra de ABNT4140 nitretada quando comparada com a amostra sem nitretação, além disso foi observado a diminuição da ductilidade da amostra 4140 nitretada que como consequência implicou em um aumento no módulo de elasticidade longitudinal, sendo possível afirmar que o aço 4140 se mostra adequado para tratamentos de nitretação, havendo um ganho nas propriedades mecânicas e tribológicas da superfície do aço.

Corroborando com a literatura, o módulo de elasticidade longitudinal encontrado para o material ABNT 4140 sem nitretação foi de 196,1 GPa, quanto para o nitretado foi de 238,4 GPa, significando que o material com o tratamento de nitretação ficou mais rígido. A dureza superficial do material nitretado foi aumentada significativamente evidenciando o aumento de resistência do material a penetração e a resistência ao desgaste.

Já as análises de torção, permitiram aferir que o torque máximo obtido na condição do aço sem tratamento foi de 89,4 N.m com uma tensão cisalhante máxima de 1779,1 MPa, enquanto para a condição nitretada o momento de torção máximo resistido pelo corpo de prova foi de 37,8 N.m com um limite de resistência de torção médio de 752,7 MPa. Avaliando o módulo de elasticidade transversal observou-se um comportamento similar ao módulo de elasticidade longitudinal onde os valores do aço com tratamento de nitretação teve um aumento de cerca de 20% em relação ao aço sem tratamento. A determinação experimental do coeficiente de Poisson do material nitretado e do material laminado a quente foram iguais os valores informados a literatura, que para aços em geral seu valor é de aproximadamente 0,3.

Ao estudar a camada nitretada do material observou a presença de diversas irregularidades como poros e variação de espessura nitretada desta forma os valores de resistência do material mediante as propriedades mecânica foram menores que o material na condição de fornecimento laminado a quente, o que justifica os resultados encontrados.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT 1984. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 6003:1984 – Arames de aço - Ensaio de torção simples. Rio de Janeiro.
- ABNT 2013. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6892:2013 – Ensaio de tração Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente. Rio de Janeiro.
- Callister, W D., 2016. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC.
- Chiaverini, V., 1996. Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos. 7. ed. AMPL. rev. São Paulo: ABM.
- Gere, J. M.; Goodno, B.J., 2018. Mecânica dos materiais. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning. E-book. ISBN 9788522124145.
- Ghelloudj, E. ., Hannachi, M. T. ., & Djebaili, H. . (2017). Effect of Salt Bath Nitriding on Surface Roughness Behaviour of AISI 4140 Steel. Acta Metallurgica Slovaca, 23(1), 45–54.
- Silva, Larissa Alves e et al. Estudo da Resistência ao Desgaste do Aço ABNT 4140 Nitretado. 2018., [S. L.], 2018.
- Souza, S. A., 1982. Ensaios Mecânicos de Materiais Metálicos, 5. ed. São Paulo: Edgard Blucher.
- MITTEMEIJER, E.J. “Fundamentals of nitriding and nitrocarburizing”, In: DOSSETT, J., TOTTEN, G.E. ASM Handbook, v. 4A, Steel Heat Treating Fundamentals and Processes, ASM International, pp. 619-646, 2013.
- BRINKSMEIER, E., HOFFMANN, F., GLÄBE, R., et al., “Diamond Machinable Tool Steels by Novel Nitriding Processes”. In: Fabrication of Complex Optical Components, LNPE, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 67-83, 2013.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores Leonardo Oliveira Miranda, Gabriel Victor Alves Nascimento, Diego Silva dos Reis, Ayrton Hugo Andrade e Santos e Jose Rubens Gonçalves Carneiro são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

EVALUATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF ABNT 4140 STEEL WITH AND WITHOUT SURFACE TREATMENT THROUGH DESTRUCTIVE TESTS

Abstract. *The study of the characterization of materials makes it possible to know the behavior of the material through the application of efforts present in different everyday situations. In this way, the application of methods that allow predicting the behavior of materials is carried out through characteristic tests, such as mechanical, physical and chemical tests. In this sense, this study aimed to characterize the behavior of ABNT 4140 steel under nitrided and untreated conditions when subjected mechanical stresses, such as uniaxial traction, torsion and fracture analysis and metallography was also analyzed. The results showed that the characteristics of the nitrided 4140 steel when subjected to tension showed a reduction in the yield level when compared to the untreated condition, in addition to verifying that the longitudinal modulus of elasticity for the untreated ABNT 4140 material was 196,1 GPa, while for nitrided it was 238.4 GPa, meaning that the material with the nitriding treatment became more rigid. Another factor was the Poisson ratio, which for the 4140 Laminate was found to have an experimental value of 0.2956 and in the nitrided condition it presented a value similar to the laminate of 0.3092. It can be affirmed in this way that the values of the elasticity modules increased in the same proportion. With the torsion analysis, it was shown that the transverse modulus of elasticity showed a similar behavior to the longitudinal modulus of elasticity, where the values of the nitrided sample had an increase of 20% in relation to the untreated sample. The fracture of this steel was evaluated in the tests described where fragile and ductile characteristics were presented in both samples. These results allowed us to evaluate possible applications for 4140 steel with and without treatment.*

Keywords: *Mechanical test; Experimental method; Manufacturing.*