

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**RODRIGO SANTOS PINTO**

N. CLASS.	4621.882
CUTTER	P659e
ANO/EDIÇÃO	2012

**ESTUDO DO PROCESSO DE ROSCAMENTO POR CONFORMAÇÃO E  
USINAGEM NO AÇO AISI 304**

**Varginha  
2012**

**FEFESMIG**

**Grupo Educacional UNIS**

**RODRIGO SANTOS PINTO**

**ESTUDO DO PROCESSO DE ROSCAMENTO POR CONFORMAÇÃO E  
USINAGEM NO AÇO AISI 304**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia  
Mecânica do Centro Universitário do sul de Minas  
como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel  
sob orientação do Prof. Erik Vitor da Silva.

**Varginha  
2012**

**FEPESMIG**

**RODRIGO SANTOS PINTO**

**ESTUDO DO PROCESSO DE ROSCAMENTO POR CONFORMAÇÃO E  
USINAGEM NO AÇO AISI 304**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia  
Mecânica do Centro Universitário do sul de Minas  
como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel  
Pela banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em     /     /

---

Prof. Erik Vitor da Silva

---

Prof.

---

Prof.

OBS.:

Dedico este trabalho a minha querida esposa  
Poliana, aos meus filhos, e todos os amigos e  
familiares.

**Grupo Educacional UNIS**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma puderam contribuir para que eu pudesse chegar a este grande momento de minha vida, e primeiramente a Deus, por estar sempre presente em minha vida, sempre me dando a oportunidade de crescer. Ao professor Erik Vitor da Silva por me orientar neste trabalho. A professora Luciene de Oliveira Prósperi pela ajuda e condução nos procedimentos. Agradeço também ao Engenheiro Digo Tubertini Maciel por me auxiliar nos experimentos e na condução deste trabalho. A empresa Maciel e Maciel por doar a matéria prima, ceder os ferramentais e máquinas para a realização dos experimentos. Ao professor Fabiano do laboratório de materiais por me ajudar na condução dos experimentos de metalografia. A minha mãe e meus irmãos por sempre me apoiar em minhas decisões, a minha Irma Flavia por ter me acolhido quando mais precisei. A minha amada esposa Poliana por todo incentivo, paciência, e por ter conseguido caminhar comigo durante estes cinco anos de muita luta e trabalho. Agradeço a minha avó Benedita e meus tios Messias e Sebastião por ter me ajudado muito quando criança, sem eles talvez minha vida tomasse outro rumo. Enfim, agradeço a todos que não citei nome, mas que de alguma forma contribuíram na realização desse trabalho.

Não há idade para começar um novo desafio,  
aqueles que não têm medo de enfrentar coisas  
novas se destacarão.

*Rodrigo Santos*

## RESUMO

O processo de roscamento é um dos mais complexos dentre os processos de usinagem. Praticamente todos os componentes de uma montagem mecânica necessitam de peças com roscas. O roscamento externo é um dos mais empregados e é realizado na maioria das vezes aplicando ferramentas com perfil simples. Entretanto, pouco se fala em laminação de roscas, este processo é uma boa alternativa para aqueles produtos que visam um melhor acabamento superficial e uma maior resistência mecânica devido à diminuição dos grãos nos filetes de roscas. Este trabalho mostra através de experimentos a boa qualidade superficial e a orientação dos grãos durante o processo de conformação de roscas. Foram realizados testes com 18 amostras utilizando parâmetros diferenciados de usinagem e conformação. Dentre as amostras foram escolhidas duas com a maior velocidade de corte para avaliação. O material utilizado foi a liga AISI 304 devido a sua facilidade de conformação. Os resultados mostraram um ótimo acabamento superficial nos filetes de roscas laminadas, já as roscas usinadas mostraram pequenas vibrações da ferramenta nos filetes. Analisando os resultados de macrografia, percebeu-se uma orientação dos grãos no sentido dos filetes e a compactação dos mesmos.

**Palavra chave:** Roscamento por conformação. Resistência mecânica. Acabamento superficial

## ABSTRACT

*The threading process is one of the most complex among machining processes. Virtually all components of a mechanical assembly need pieces Threaded. The external threading is one of the most widely used and is done mostly by applying tools with simple profile. However, little is talk of rolling thread, this process is a good alternative for those products for achieving better surface finish and greater mechanical strength due to the decrease in grain fillets threads. This paper shows through experiments good surface quality and grain orientation during the thread forming process. Realiados were testing 18 samples using different machining parameters and conformation. Of the two samples were chosen with the highest speed of cut for evaluation. The material used was the league AISI 304 due to its ease of forming. The results showed a good surface finish in fillets rolled threads, the threads machined already showed small vibrations of the tool in the fillets. Analyzing the results of macrograph, noticed a grain orientation in the direction of compression and filleted them.*

*Keywords: By tapping conformation. Mechanical Resistance. Surface finish*



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Dimensões básicas.....	13
Figura 2- Perfis de roscas .....	14
Figura 3- Roscamento externo .....	15
Figura 4- Parâmetros no processo de torneamento .....	16
Figura 5-Roscamento com ferramenta simples.....	17
Figura 6- Quebral .....	17
Figura 7- Deformação plástica da aresta de corte .....	18
Figura 8- Comportamento tensão deformação .....	21
Figura 9- Rosca laminada e usinada.....	22
Figura 10- Cabeçote Laminador.....	22
Figura 11- Perfis de roscas laminadas.....	23
Figura 12- Aumento da resistência de uma rosca laminada.....	24
Figura 13-Laminador de rosca .....	27
Figura 14- Projetor de perfil.....	27
Figura 15- Torno CNC Sinitron .....	28
Figura 16- Rosca laminada a esquerda e usinada a direita.....	29
Figura 17- Roscas cortadas na erosão a fio .....	30
Figura 18-Altura e passo do perfil das roscas usinadas a esquerda e laminadas a direita .....	30
Figura 19-Imagens das amostras tiradas em microscópio eletrônico.....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - composição do aço inox AISI 304 recozido.....	26
Tabela 2 - Parâmetros de corte para rosca usinada .....	28
Tabela 3- Parâmetros de corte para rosca laminada.....	29

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNC-Comando Numerico Computadorizado .....	12
ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas .....	13
NBR-Norma Brasileira.....	13
d1- Diâmetro menor da rosca externa no perfil básico .....	14
D1- Diâmetro maior da rosca externa no perfil básico .....	14
d2- Diâmetro de flanco da rosca externa no perfil básico.....	14
D2- Diâmetro de flanco da rosca interna no perfil básico .....	14
ap- profundidade de corte da ferramenta .....	19
Cr-Cromo .....	25
Fe-Ferro .....	25
C-Carbono .....	25
Ni-Niquel.....	25
APC-Aresta Postiça de Corte .....	25
AISI-American Iron and Steel Inst .....	25
M12x1,5-Rosca de diametro de 12milimetros,passo de 1,5 .....	26
Mn-Manganes .....	26
Si-Silicio.....	26
R1-R18-Códigos de amostras .....	28
RPM-Rotação por minuto .....	28
150x-Ampliado 150 vezes.....	30
75x-ampliado 75 vezes.....	31
FeCl3-Cloreto Férrico .....	31
g-gramas.....	31
H2O-Agua .....	31
HCl-Ácido cloridrico .....	31
ml-mililitro .....	31
Cucl2-Cloreto de cobre .....	31

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
2 ROSCAMENTO.....	13
3 TORNEAMENTO COM FERRAMENTA SIMPLES.....	16
4 CONFORMAÇÃO DOS METAIS.....	20
5 DEFORMAÇÃO PLÁSTICA.....	21
6 CONFORMAÇÃO DE ROSCA COM ROLO LAMINADOR.....	22
7 AÇO INOXIDÁVEL AISI 304.....	25
8 METODOLOGIA .....	25
9 ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
10 CONCLUSÃO .....	32
REFERÊNCIAS.....	33

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de roscamento é um dos mais complexos dentre os processos de usinagem com remoção de cavaco.

A Construção de roscas sem geração de cavacos com cabeçotes laminadores tem uma série de vantagens como: as fibras do material permanecem intactas, a superfície tem um melhor acabamento ficando polido e teremos ainda uma maior resistência, a laminação também economiza material, pois trabalha com o diâmetro primitivo.

O roscamento com rolo laminador tem como objetivo formar os filetes de roscas através da conformação do material a frio.

A laminação permite a fabricação de quase todos os tipos de roscas standard ou especiais, desde roscas cônicas, e paralelas ate roscas trapezoidais.

Devido à grande utilização de roscas, a indústria tem buscado novas formas mais produtiva e mais segura para a fabricação de componentes, hoje os processos mais utilizados são através de usinagem e laminação. A Conformação de roscas consiste em submeter à peça sob uma pressão causada por rolos laminadores, que podem ser utilizados em tornos mecânicos ou CNC, ou em outras máquinas.

São varias as características que diferencia a rosca usinada das roscas laminadas onde podemos destacar que a usinada o filete é gerado através da remoção do material através de ferramentas de corte. Estas ferramentas tem o ciclo de vida pequeno, podendo gerar roscas fora do especificado. Na laminação o material é comprimido por rolos laminadores, que permite um melhor acabamento superficial.

Mas a laminação também pode causar falhas de fabricação, como falha na formação dos filetes de roscas, filetes duplos e dependendo do material a ser laminado pode gerar tensões internas.

Este trabalho tem como base, a revisão sobre processos de fabricação com remoção de cavaco, com o foco para os processos de laminação de roscas, avaliando o acabamento superficial e resistência mecânica da rosca laminadas, suas vantagens comparadas com o processo de torneamento de roscas.

## 2 ROSCAMENTO

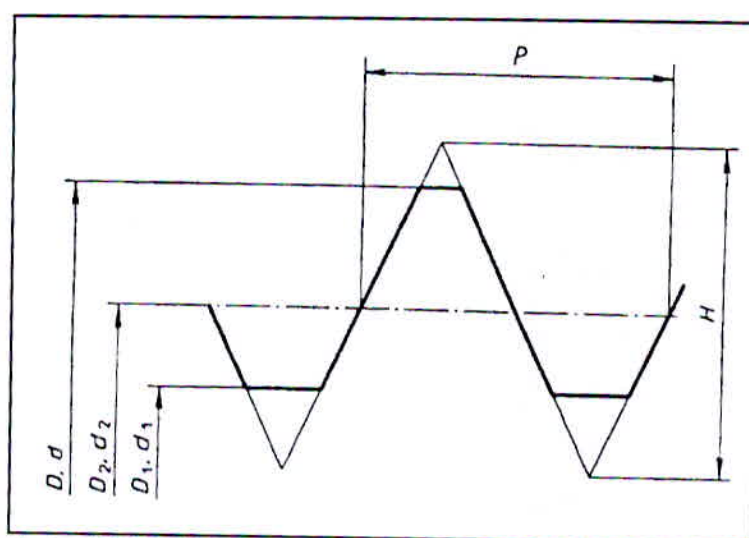
De acordo com Ferraresi (2000) roscamento é um processo destinado a obtenção de filetes, por meio da abertura de um ou vários sulcos helicoidais de passo uniforme, em superfícies cônicas ou cilíndricas de revolução, podendo ser interno ou externo.

As roscas podem ser fabricadas de diversos processos, dentre eles, usinagem, conformação, injeção e fundição.

Na fabricação de roscas podem ser realizados diversos padrões de roscas onde podemos citar: Rosca métrica normal (DIN 13-1), fina (DIN 13-2.10) Rosca Whitworth, rosca gás (DIN ISO 228-1), Rosca dente de serra (DIN 513), entre outras.

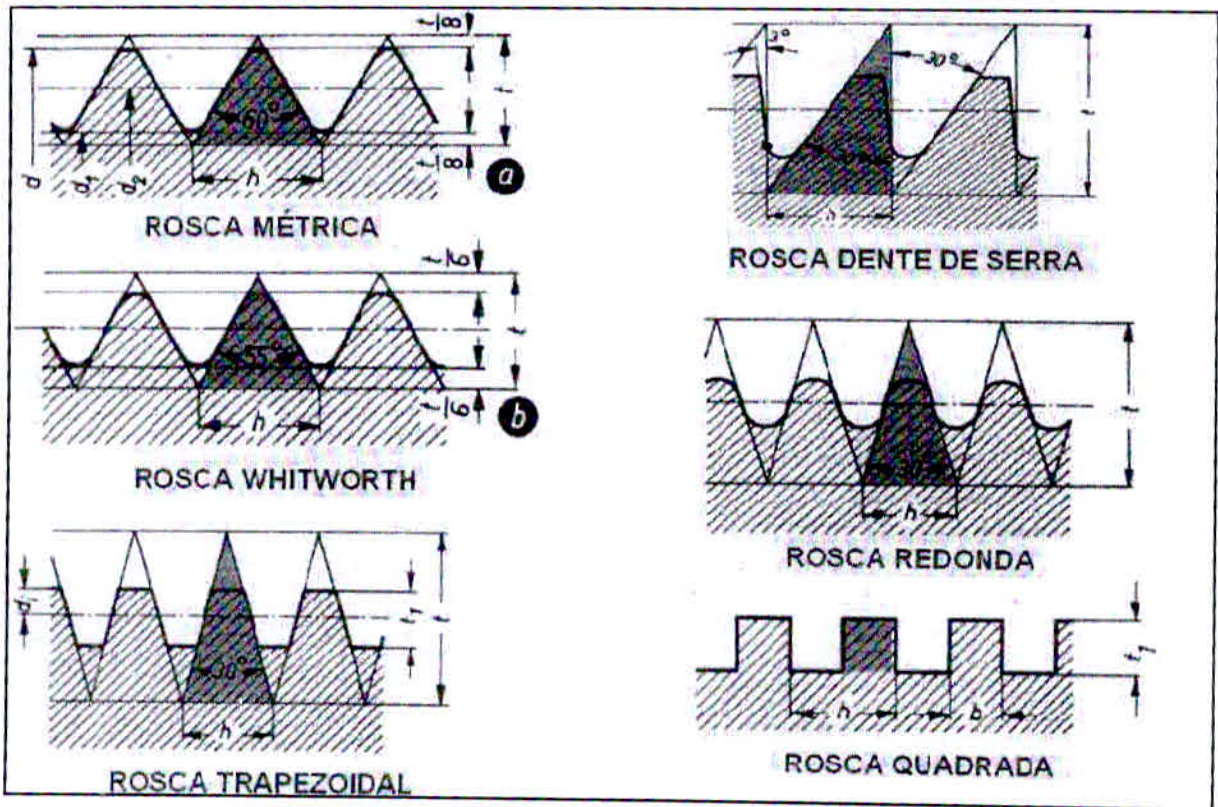
Roscas são superfícies compostas, gerada por um ou mais perfis e quando todos os seus pontos descrevem hélices com passo constante ou variável (NBR 5876, 1988). Conforme a ABNT CB 206 (1991), as roscas são classificadas como roscas para fixação e roscas para transmissão de movimentos. Roscas de fixação têm o objetivo de prender dois ou mais elementos entre si. Este grupo de roscas é utilizado, como por exemplo, em porcas, parafusos, e hastes roscadas. Do outro lado, as roscas de transmissão de movimentos são utilizadas com o objetivo de transmitir potência e movimentos, transformando-os de giratórios para lineares.

Figura 1 - Dimensões básicas



Fonte: (NBR 724)

Figura 2- Perfis de roscas



Fonte: o autor

Os valores foram calculados pelas seguintes equações para  $D_2$ ,  $d_2$ ,  $D_1$ ,  $d_1$ .

$$D_2 = D - 2 \times (3 \div 8) \times H = D - 0,649 \times 5P$$

$$d_2 = D - 2 \times (3 \div 8) \times H = D - 0,649 \times 5P$$

$$D_1 = D - 2 \times (3 \div 8) \times H = D - 1,082 \times 5P$$

$$d_1 = D - 2 \times (3 \div 8) \times H = D - 1,082 \times 5P$$

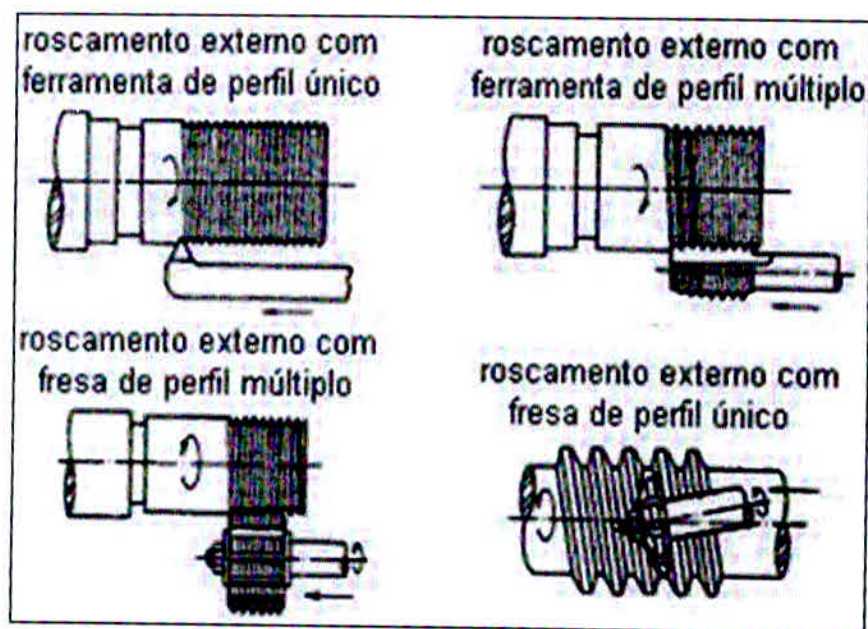
O roscamento está presente em quase todas as peças fabricadas nas indústrias do setor metal/mecânica. Praticamente todos componentes mecânicos apresentam uma ou várias regiões com perfil roscado externo ou interno. Os bens de consumo como automóveis, máquinas agrícolas, motocicletas e os vários equipamentos apresentam regiões roscadas.

Componentes mecânicos podem ser unidos por meio de soldagem ou fixação removível, como parafusos, pinos entre outros. Pela facilidade na substituição e reparo, o uso

de parafusos torna o mais comum, havendo muito poucos equipamentos que não usem parafusos para fixação.

Nas últimas décadas dispondo de máquinas mais modernas, e mais velozes e com comandos numéricos mais eficientes, os processos de usinagem sofreram um elevado avanço incluindo o processo de roscamento. O Roscamento externo é executado em superfícies externas de revolução seja cilíndricas ou cônicas. Enquanto o interno é realizado em superfícies internas cilíndricas de revolução (FERRARESI, 1990; ABNT, 1971). As principais formas de se realizar o roscamento externo na usinagem é utilizar, por exemplo, ferramenta de perfil único, ferramenta de perfil múltiplo, fresa de perfil múltiplo ou fresa de perfil único conforme Figura 3. Este processo é realizado da mesma maneira que o torneamento externo, ou seja, existe um movimento de rotação da peça a ser roscada em torno do seu eixo e um movimento de avanço no sentido axial. A combinação dos movimentos produz o perfil roscado desejado.

Figura 3- Roscamento externo



Fonte (FERRARESI, 1990).

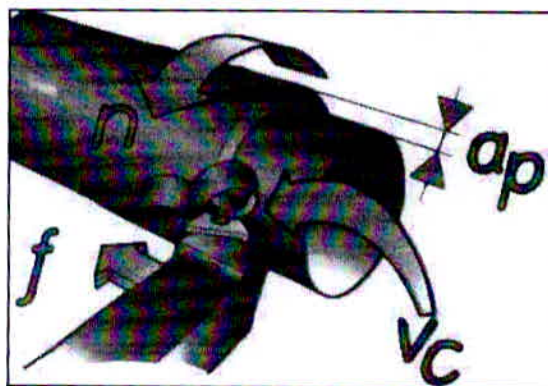
A usinagem de rosca com remoção de cavaco é o processo mais conhecido, porém existem outros métodos de fabricação que muitos desconhecem, a seguir será feita uma introdução ao processo de roscamento com geração de cavaco mais tradicional, que é o torneamento de roscas com ferramenta simples e, em seguida, abordaremos o processo de roscamento por conformação com rolos laminadores.



### 3 TORNEAMENTO COM FERRAMENTA SIMPLES

Segundo Ferraresi (2000) o torneamento é um processo mecânico de usinagem que produz superfícies de revolução através de ferramentas mono cortantes. O material usinado gira em torno do eixo de simetria da peça e a ferramenta realiza movimentos coplanares a esse eixo. O torneamento pode ser retilíneo ou curvilíneo, segundo a trajetória da ferramenta.

Figura 4- Parâmetros no processo de torneamento

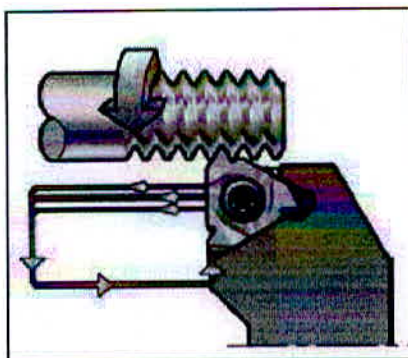


Fonte: (SANDVIK, 2004).

No processo de torneamento com ferramenta simples o perfil da rosca é executado com apenas um gume em várias passadas, são utilizadas ferramentas de aço rápido, metal duro entre outros.

Dentre os processos que envolvem a remoção de cavacos, esse é um dos mais utilizados, visto que no sistema de montagem de peças o roscamento é mais indicado devido a sua versatilidade. Deste modo, o roscamento por usinagem se sobressai ao processo realizado por conformação, já que o primeiro é muito mais difundido.

Figura 5-Roscamento com ferramenta simples

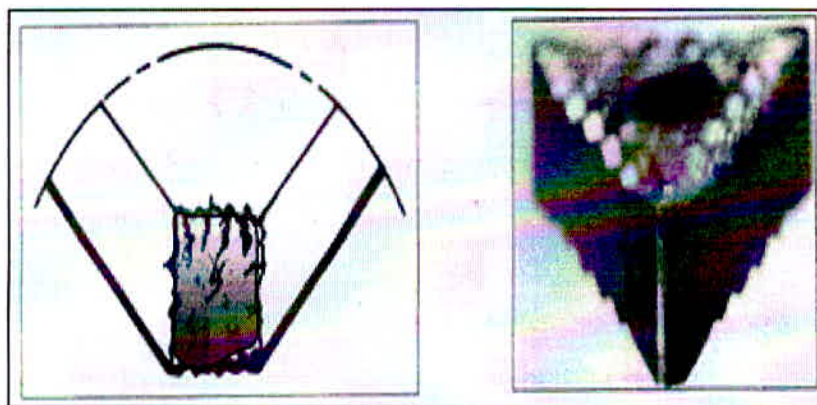


Fonte: (SANDVIK, 2004).

Pode-se dizer que, dentre os processos de usinagem, o roscamento é, um dos mais difíceis de ser executado devido as diversas variáveis durante o processo como: complicada remoção de cavacos e lubrificação na zona de corte, criação de arestas postiças nos inserts, quebras, difícil controle de qualidade em lotes maiores de peças, entre outros.

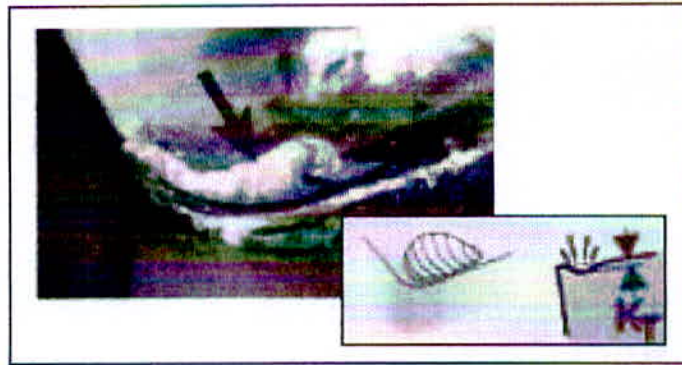
Na figura 6 e 7 é mostrado alguns problemas que podem ocorrer durante o torneamento de roscas.

Figura 6- Quebra



Fonte: (Sandivik, 2004)

Figura 7- Deformação plástica da aresta de corte



Fonte: (Sandivik, 2004)

Segundo Dinis (2000) desgaste é a perda contínua e microscópica de partículas da ferramenta devido a ação do corte.

Podemos citar alguns casos de desgastes em ferramentas como:

- Desgaste frontal: Ocorre na superfície de folga da ferramenta devido o contato entre peça e ferramenta.
- Desgaste de cratera: Causado pelo atrito entre ferramenta e cavaco na superfície da ferramenta
- Deformação plástica da aresta de corte: Este tipo de avaria na ferramenta é causada muitas vezes devido a pressão aplicada a ponta da ferramenta, somada a alta temperatura, gerando a deformação plástica.
- Trincas: São provocadas pela variação de temperatura ou esforços mecânicos.
- Quebra: Quando os desgastes na ferramenta aumentam, podem causar quebras da aresta, e em alguns casos podem quebrar inesperadamente devido a fatores como: Corte interrompido, raio de ponta pequena, para instantânea de movimento de corte, entre outros.

A vida da ferramenta é o tempo em que a mesma trabalha efetivamente ate perder sua capacidade de corte (DINIS 2000).

O aumento contínuo do desgaste é influenciado principalmente pela velocidade de corte, depois pelo avanço, e por último pela profundidade de corte (ap).

A velocidade de corte é o principal fator que influencia no desgaste, pois quanto maior a velocidade, maior o calor na aresta de corte.

Segundo Ferraresi (2000) Os efeitos de transmissão de calor do corte de metais são muito complexos, pois com o aumento da temperatura mudam as características físicas e mecânicas dos metais usinados.

Outro fator importante na usinagem de roscas é o uso de fluidos refrigerantes. O uso de fluidos é necessário na usinagem de roscas, a fim de diminuir as forças aplicadas no processo.

Como ocorre em todos os processos de usinagem, a vida da ferramenta pode ser aumentada com o uso de fluidos refrigerantes.

A lubrificação é facilitada em baixas velocidades de corte, já que, nestas condições, a penetração do fluido é facilitada. Ele é importante também, para a expulsão do cavaco da região de corte e para proteção contra corrosão.

## 4 CONFORMAÇÃO DOS METAIS

No processo de laminação o material da peça é submetido a uma pressão além de seu ponto de deformação e então é deformado plasticamente.

A laminação a frio provoca endurecimento por deformação, cria raios de adoçamento na raiz e na crista das roscas introduzindo tensões residuais compressivas na superfície do material.

Ao mesmo tempo há uma reorientação dos grãos do material, enquanto que nas roscas cortadas ocorre a interrupção dos grãos. Estes fatores contribuem para que as roscas construídas através do processo de laminação sejam mais resistentes do que as cortadas. Estes fatores também contribuem para um aumento significativo da resistência de roscas laminadas quando comparadas com as usinadas. As roscas laminadas, além da maior resistência, apresentam menor perda de material já não há remoção de material.

A conformação mecânica dos metais, é de grande importância dentro da área de fabricação de peças metálicas, e refere-se a mudanças de forma e de dimensões de metais através da aplicação de esforços mecânicos. Segundo Helman (2005) a laminação cria um encruamento na superfície do material aumentando a dureza superficial e melhorando a resistência da peça.

De acordo com Callister (2011) o encruamento é o fenômeno segundo o qual um material dúctil se torna mais duro e mais resistente quando é deformado plasticamente.

Quando se deforma um metal, a maior parte da energia cedida a este material é transformada em calor, quanto maior for a velocidade da deformação, menor será a dissipação deste calor.

Considerando um material sendo deformado, classifica-se normalmente a operação em deformação a frio ou a quente. Na deformação a frio, o material endurece por encruamento durante a deformação. A capacidade de um material sofrer deformação a frio é limitada pela ocorrência de fratura. Na conformação dos metais, o atrito está sempre presente, sendo geralmente considerado nocivo. Entre os aspectos relevantes da conformação mecânica mais diretamente ligada ao atrito, pode-se assinalar:

- Alteração, dos estados de tensão necessários para a deformação;
- Uma má qualidade superficial do produto;
- Aparecimento de tensões residuais na peça;
- Desgaste em ferramentas;

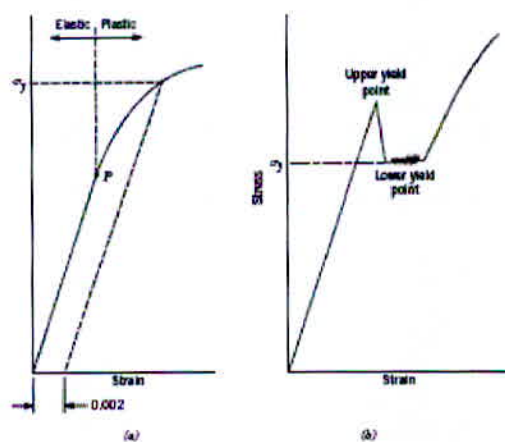
## 5 DEFORMAÇÃO PLÁSTICA

A deformação está relacionada à capacidade de promover-se a modificação na forma de um material sem acarretar defeitos que inviabilizem seu uso. Assim, geralmente, associa-se o termo conformabilidade condições limites de deformação nas quais o material mantém-se íntegro.

Segundo Callister (2011) para a maioria dos materiais metálicos, o regime de deformação elástica persiste apenas até a deformação de 0,005. Conforme o material é deformado após este ponto, a tensão não é mais proporcional a deformação, e ocorre uma deformação permanente não recuperável, ou a deformação plástica.

A deformação plástica corresponde a quebra de ligações com os átomos vizinhos originais, seguida pela formação de novos átomos..

Figura 8- Comportamento tensão deformação



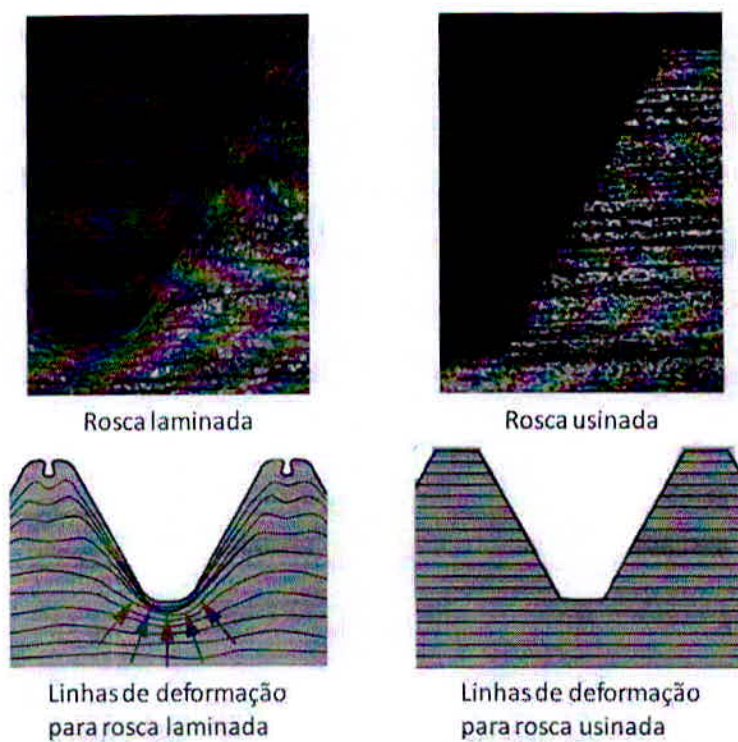
Fonte: (Callister 2011).

Acima de certa tensão, os materiais começam a se deformar plasticamente. O ponto na qual estas deformações permanentes começam a se tornar significativas é chamado de limite de escoamento.

## 6 CONFORMAÇÃO DE ROSCA COM ROLO LAMINADOR

Este processo de laminação de roscas a frio causa apenas o deslocamento das fibras do material conforme Figura 9.

Figura 9- Rosca laminada e usinada



Fonte: (Emuge 2010)

Figura 10- Cabeçote Laminador



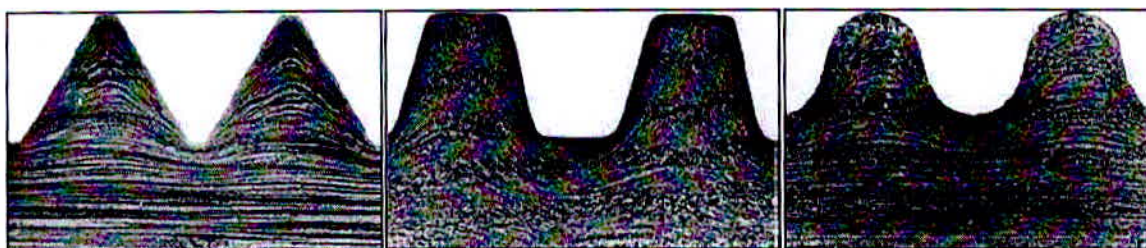
Fonte: (LMT-FETTE 2009)

A substituição, em alguns casos, do tradicional processo de usinagem de roscas torneada pela laminação pode ser justificada por apresentar uma grande vantagem que é a não geração de cavacos, evitando assim perda de tempo com a limpeza da região roscada, que tem como objetivo evitar a interferência de cavacos na montagem de componentes. Além disso, a não geração de cavacos no processo de roscamento por laminação faz com que este processo tenha mais vantagem em relação ao tradicional quando são considerados aspectos ambientais, pois não existe o descarte de material na forma de cavacos no meio ambiente.

Por outro lado o processo de laminação de roscas tem uma desvantagem que é o aumento na potência da máquina quando comparado com a usinagem de roscas. Portanto, o estudo deste processo alternativo comparado com o tradicional deve ser estudado com muito critério.

O sistema de laminação de roscas permite a fabricação de roscas internas e externas. Este processo pode ser feito a frio e a quente. No trabalho a frio temos o fenômeno do encruamento do material que é ocasionado pela interação das discordâncias entre si e com outras barreiras, como contornos de grãos. Já na laminação a quente a energia requerida para deformar o material é menor, pois o escoamento plástico é maior. As vantagens obtidas com a laminação de roscas, são as seguintes: Alta precisão, grande resistência a corrosão, produtividade, superfície lisa e uniforme, aumento da resistência do flanco da rosca, aumento da resistência à fadiga e economia de material, uma vez que as dimensões iniciais são menores que as dimensões desejadas para o diâmetro externo da rosca. (LMT-FETTE 2009) Seja qual for a aplicação em que a carga nos parafusos seja alta e onde cargas causadoras de fadiga estiverem presentes, roscas laminadas poderão ser utilizadas.

Figura 11- Perfis de roscas laminadas



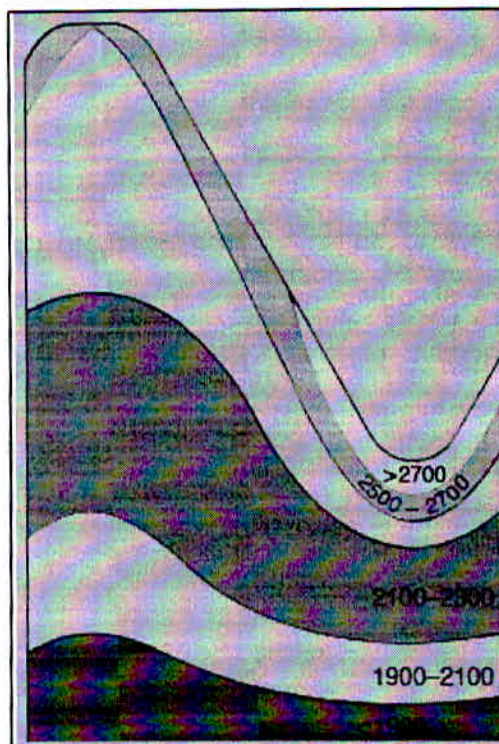
Fonte: (LMT FETTE,2009)



A elevada resistência à tração e aos esforços alternados de roscas laminadas deve-se à não destruição da orientação das fibras. As imagens micrográficas (pág. 25, figura 11) mostra claramente como as fibras do material seguem o perfil da rosca.

As superfícies de rosca polidas com uma profundidade de rugosidade abaixo de cinco  $\mu\text{m}$  melhoram a resistência à corrosão e causam um menor atrito na rosca. O flanco compactado a frio permite uma maior pressão superficial. Através da conformação por pressão surge, no fundo da rosca, um sistema de esforço interno de pressão, que também contribui para a resistência a esforços alternados. Em comparação à rosca cortada, na rosca laminada resulta um aumento de capacidade de carga de 6–12 %. (LMT FETTE 2009).

Figura 12- Aumento da resistência de uma rosca laminada



Fonte (LMT FETTE,2009).

## 7 AÇO INOXIDÁVEL AISI 304

Os aços inoxidáveis são ligas de ferro (Fe), carbono (C) e cromo (Cr) com um mínimo de 10,50% de Cr.

Segundo Machado (2009) os aços inoxidáveis são caracterizados pela baixa condutividade térmica e pela alta capacidade de endurecimento por deformação, além de serem materiais que aderem à aresta de corte formando APC (aresta postiça de corte)..

O aço inoxidável AISI 304 possui extensas aplicações nas indústrias químicas, petroquímica, e nuclear. Com a composição usual de 18 a 20% Cr e 8 a 10%Ni, este aço tem uma estrutura austenítica quando solubilizados a cerca de 1000oc e resfriados rapidamente.

Entretanto, quando a austenita é plasticamente deformada a frio, pode ocorrer uma conversão parcial em martensita. Basicamente, há dois tipos de martensita geradas por deformação plástica no aço AISI 304, sendo a martensita a, magnética, e de estrutura cúbica de corpo centrado e a martensita e, paramagnética, e de estrutura hexagonal compacta.

A resistência à corrosão e oxidação dos aços inoxidáveis 304 se deve principalmente ao alto teor de cromo (18%), que permite a formação de uma película de oxido de cromo sobre a superfície do aço.

## 8 METODOLOGIA

Foram escolhidos para variáveis de entrada a velocidade de corte, o diâmetro inicial da haste a ser laminada e o tipo de ferramenta utilizado. As variáveis de resposta escolhidas foram o acabamento superficial e a resistência do material devido ao encruamento. O material de trabalho empregado foi à liga AISI 304.

Tabela 1 composição do aço inox AISI 304 recozido

Composição %	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni
Estado recozido	0,08	2	0,045	0,030	1	18-20	8-11

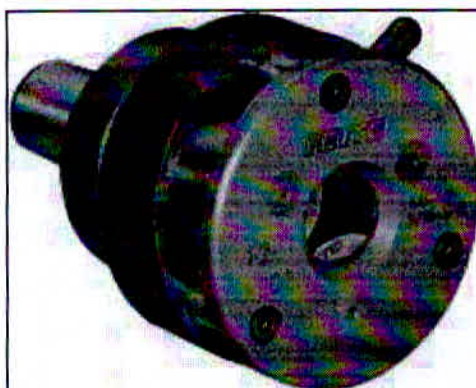
Fonte: o autor

Devido ao alto teor de níquel os aços austenítico 304 respondem a trabalho a frio com aumento da resistência mecânica, podendo ser utilizado em operações severas de conformação, evitando ruptura prematura e trincas.

Para o estudo de comparação de processos de usinagem de rosca e laminação nos termos acabamento superficial e resistência mecânica, foram usinadas 9 amostras pelo processo de usinagem de roscas com ferramenta simples, dividido em 3 grupos de 3. Cada grupo foi usinado com parâmetros diferentes de corte conforme tabela abaixo. A rosca construída foi M12x1,5 com corpos de prova de 15mm de comprimento para usinados e 25mm para laminados.

Para os experimentos foram utilizados os seguintes equipamentos: Laminador de rosca tipo R da marca Zorbor, torno CNC Sinitron modelo BNC 2260X, erosão a fio, Microscópio eletrônico, Projetor de perfil com câmera de medição de marca Insize.

Figura 13-Laminador de rosca



Fonte. (LMT FETTE, 2009)

Figura 14- Projetor de perfil



Fonte: O Autor

Figura 15- Torno CNC Sinitron



Fonte: O Autor

Tabela 2 - Parâmetros de corte para rosca usinada

Usinagem								
RPM			RPM			RPM		
530			796			1061		
R1/01	R2/02	R3/03	R1/04	R2/05	R3/06	R1/07	R2/08	R3/09

Fonte: o autor

## 9 ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o processo de laminação foram construídas também 9 amostras e utilizado o mesmo procedimento das amostras usinadas.

Tabela 3- Parâmetros de corte para rosca laminada

Laminação								
RPM			RPM			RPM		
133			265			560		
R1/10	R2/11	R3/12	R1/13	R2/14	R3/15	R1/16	R2/17	R3/18

Fonte: o autor

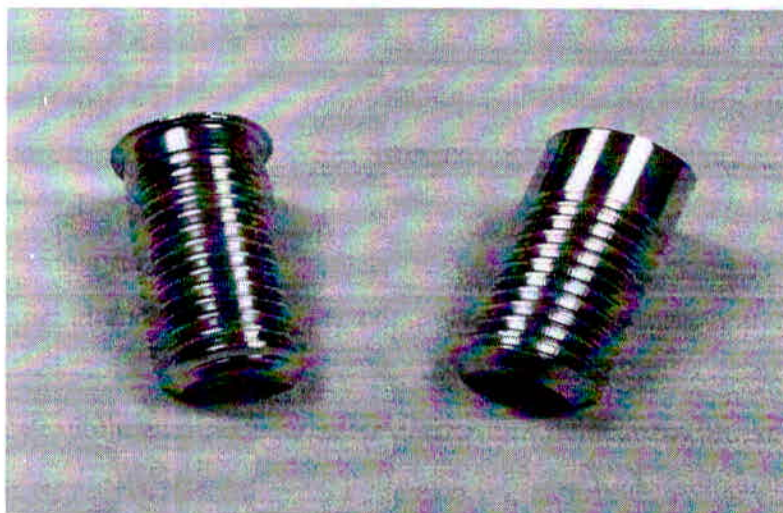
Após construídas as amostras laminadas e usinadas, foi verificado executado um eletropolimento de 1 minuto para limpeza e brilho nas peças.

Este processo foi executado devido às peças estarem com pequenas oxidações devido a água da eletroerosão a fio.

O tempo de imersão da peça foi controlado para que não houvesse remoção de material.

Após o eletropolimento pode-se notar a diferença de acabamento superficial entre as peças. A amostra laminada obteve filetes de rosca com um bom acabamento e brilho. Já a amostra usinagem também ficou com o aspecto brilhante, porém apresentou vibrações da ferramenta.

Figura 16- Rosca laminada a esquerda e usinada a direita

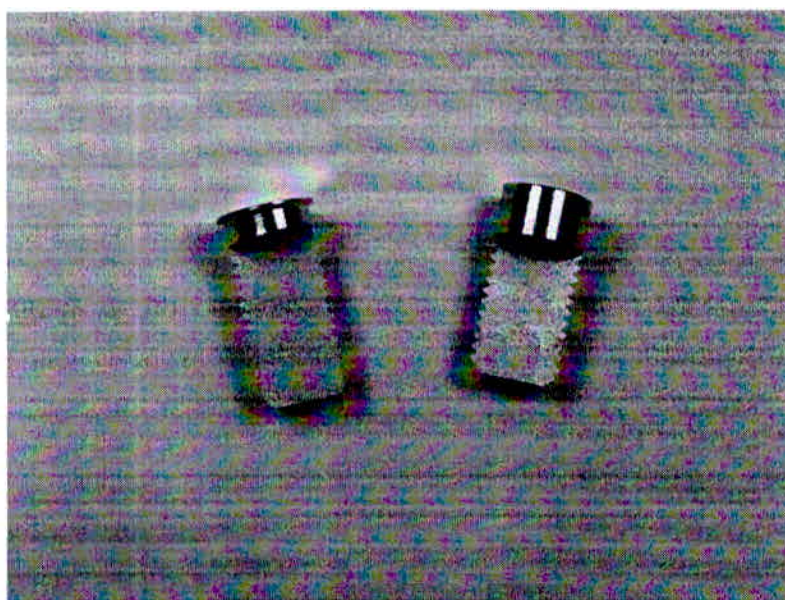


Fonte: O autor

Dentre os corpos de prova foram escolhidos os de numero R1/7 e R1/16, foram realizados macrografia e verificação do acabamento superficial, a macrografia foi realizada com a finalidade de verificar os tamanhos dos grãos e orientação dos mesmos.

Depois de fabricadas as roscas usinadas e laminadas, as mesmas foram cortadas na erosão a fio para avaliação dos filetes.

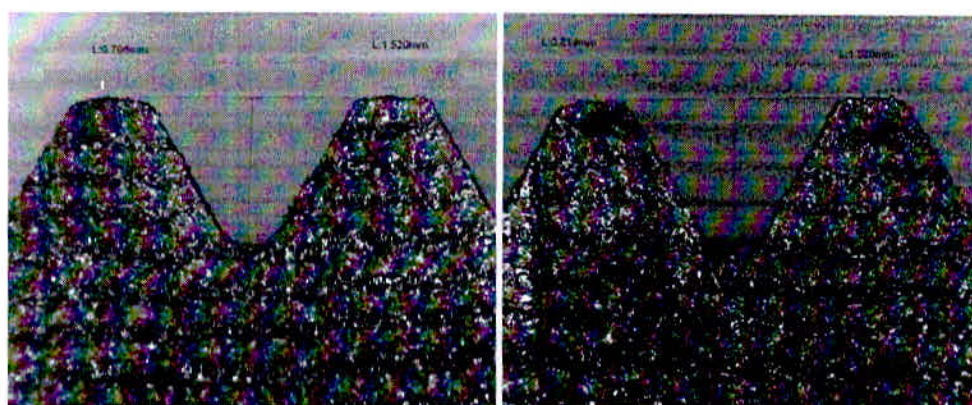
Figura 17- Roscas cortadas na erosão a fio



Fonte: O autor

Com as amostras cortadas foi avaliado em projetor de perfil com aumento de 150x a altura dos filetes de roscas e o passo conforme figura 1.

Figura 18-Altura e passo do perfil das roscas usinadas a esquerda e laminadas a direita



Fonte: O autor

Já com as amostras conferidas o dimensional e acabamento superficial, as amostras R1/07 e R1/16 foram levadas ao laboratório para análise de macrografia com microscópio eletrônico com ampliação de 75x.

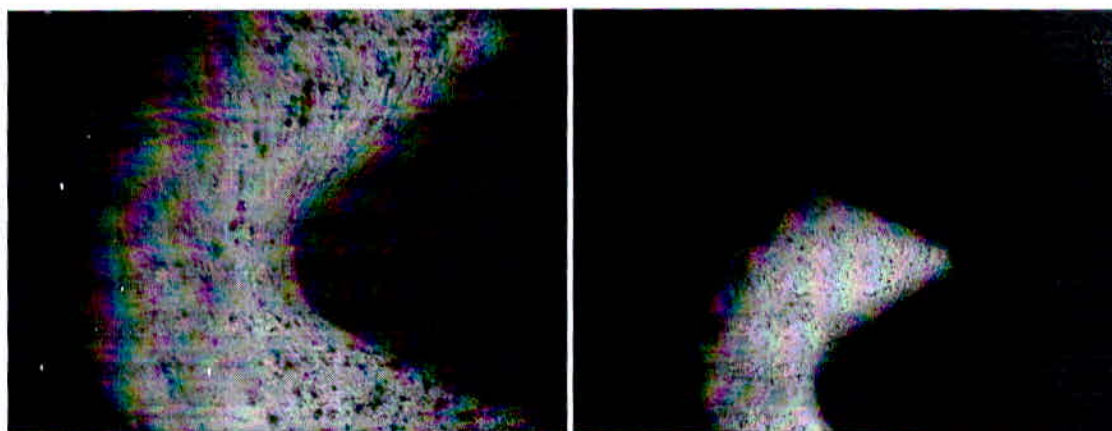
Antes de iniciar a preparação das amostras foi preparado o reagente com 5g de  $\text{CuCl}_2$ , 100 ml de HCl, 100 ml de álcool etílico e 100 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada. Após de preparado o reagente as peças foram preparadas para a macrografia. Primeiramente as duas amostras foram lixadas com lixa na grana 220, 320, 400 e 600. Após o lixamento as mesmas foram levadas para politriz e polidas com alumina.

Uma vez as amostras preparadas, as mesmas foram atacadas com o reagente e levadas ao microscópio, porem percebeu que o reagente não atacou o suficiente.

Consultando novamente a literatura notou-se que havia outro reagente que abrangia as ligas de aços inoxidáveis. Após a preparação do novo reagente (5g de  $\text{FeCl}_3$ +50 ml de HCl+100 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada), as amostras foram atacadas novamente e levadas ao microscópio para verificação.

Obteve-se uma melhora na visualização da orientação dos grãos conforme figura 1, pode-se observar a diminuição dos grãos e a mudança de sentido, também podemos observar que no fundo dos filetes de roscas laminadas a compactação dos grãos foi maior devido ao esforço predominante neste ponto. Já na amostra de rosca usinada percebeu que não houve mudança de direção dos grãos, e os mesmos se mantiveram uniforme em todo o material.

Figura 19-Imagens das amostras tiradas em microscópio eletrônico



Fonte: O autor



## 10 CONCLUSÃO

O principal objetivo dessa monografia foi avaliar e comparar os processos de roscamento por laminação e usinagem, com foco para o acabamento superficial e resistência mecânica.

Foram construídos corpos de prova de roscas laminadas e usinadas, concluindo que as roscas laminadas alcançaram o perfil desejado com uma excelente taxa de preenchimento, os filetes de roscas laminados obtiveram excelente acabamento superficial. Já as roscas usinadas também atingiu o perfil desejado, porém com algumas irregularidades nos filetes devido a pequenas vibrações.

Considerando o encruamento do material pode-se notar uma diminuição dos grãos nos filetes de roscas laminadas, o que de acordo com literaturas estudadas nos mostra que esta diminuição e compactação dos grãos melhoram a resistência mecânica e a fadiga do material, com isto comprova a eficiência do processo de laminação de roscas no termo resistência mecânica.

Considerando conjuntamente a resistência do material e o acabamento superficial do filete de rosca a melhor estratégia para um bom produto será a produção de roscas por conformação.

### Sugestões para trabalhos futuros

A seguir são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros que complementariam o trabalho feito nessa monografia. São elas:

- Realizar ensaios de tração para melhor avaliação de resistência mecânica.
- Verificar através de ensaios com durômetro, a dureza do material nos filetes de roscas.
- Realizar ensaios de micrografia para melhor visualização do encruamento do material.
- Construir corpos de prova com velocidades de deformação diferenciadas para uma comparação.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6175**: Processos Mecânicos de Usinagem. Rio de Janeiro, 1971.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9537**: Rosca Métrica. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 724**: Rosca métrica ISO de uso geral Dimensões básicas. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **CB 206/1991**: Tipos e Aplicações. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5876**: Roscas – Terminologia. Rio de Janeiro, 1988.
- CALLISTER, Jr. Willian D. Ciências e engenharia de materiais. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- CALLISTER, Jr. W. D. **Materials Science and Engineering** . 7.ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2007.
- CARVALO, Ubirajara Marques. **Técnicas e Procedimentos na Metalografia Prática**. São Paulo, 1978.
- Catálogo de ferramentas**, LMT FETTE, 2009.
- Catálogo de ferramentas**, Sandvik, 2004.
- Catálogo de ferramentas**, Emug, 2010.
- DINIZ, Anselmo Eduardo. MARCONDES, Francisco Carlos. COPINNI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 6.ed. São Paulo: Artliber Editora, 2008.
- CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica**. Mc GraW Hill editora; Vol. I, II e III;. 2a ed.; 1986
- FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem Dos Metais**, 8.ed. São Paulo, 1990.
- FERRARRESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Editora EdgarBlucher Ltda, 2000.
- FERRARRESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda, 1970, 12ª reimpressão- 2006.
- HELMAN, Horacio; CELTIN, Paulo Roberto. **Fundamentos da conformação Mecânica dos metais**. 2. ed. Belo Horizonte, 1993

MACHADO, A.R.; e Da Silva, M.B. ; COELHO, R. T; ABRÃO, A. M.-. **Teoria da Usinagem dos Materiais** 1.ed. São Paulo: Editora Blucher, 2009.

Norma DIN 13 – **Roscas Métricas**

Norma DIN 103 – **Roscas Trapezoidais**

Norma DIN ISO 228-1: 1994 – **Roscas Gás**

Norma DIN513 **Roscas Dente de Serra**

PADILHA, A. F. **Materiais de Engenharia, Microestrutura e Propriedades**, 2000.

COSTA E SILVA, André Luiz V. da.PAULO, Roberto Mei. **Aços e ligas especiais**.