

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais



Dissertação

Isa Carla Nicesio

**Nitretação por descargas elétricas do aço AISI 4140 utilizando
diferentes categorias de ureia**

Belo Horizonte

Março de 2017

ISA CARLA NICESIO

**Nitreção por descargas elétricas do aço AISI 4140 utilizando
diferentes categorias de ureia**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gérias, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Ernane Rodrigues da Silva

Belo Horizonte

Março de 2017

Nicesio, Isa Carla.
N591n Nitretação por descargas elétricas do aço AISI 4140 utilizando diferentes categorias de ureia / Isa Carla Nicesio. - 2017.
85 f. : il.; tabs. ; grafs ; fotos. –

Orientador: Ernane Rodrigues da Silva.

Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Belo Horizonte, 2017.
Bibliografia.

1. Usinagem por eletroerosão. 2. Nitretação iônica.
3. Ureia. 4. Aço. I. Silva, Ernane Rodrigues da. II. Título.

CDD: 671.35



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
“NITRETAÇÃO POR DESCARGAS ELÉTRICAS DO AÇO
AISI 4140 UTILIZANDO DIFERENTES CATEGORIAS DE
UREIA”

Autor: Isa Carla Nicesio

Orientador: Prof. Dr. Ernane Rodrigues da Silva

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:

Prof. Dr. Ernane Rodrigues da Silva (ORIENTADOR)
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG

Prof. Dr. Ezequiel de Souza Costas Júnior
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG

Prof. Dr. Rogério Felício dos Santos
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG

Belo Horizonte, 03 de Março de 2017.

**A meu querido Daniel,
que este trabalho possa inspirá-lo a
mudar seu perfil de estudante.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sua mão sempre generosa em minha vida, fazendo com que eu persevere sempre.

Ao professor Dr. Ernane Rodrigues da Silva, meu orientador, por toda ajuda, incentivo e disponibilidade durante todo o trabalho, bem como pela confiança depositada.

Ao professor Dr. Rogério Felício dos Santos pelas sugestões e críticas durante a execução dessa dissertação e como membro da minha banca de exame de qualificação.

Ao professor Dr. Ezequiel de Souza Costa Júnior pelas críticas e sugestões como membro da minha banca de exame de qualificação e também por todo o conhecimento transmitido na disciplina Ensaaios de Materiais.

Ao Inácio pelo constante incentivo e ajuda durante todo o trabalho.

Ao professor Dr. Augusto César da Silva Bezerra pelo auxílio técnico, permitindo a utilização do MEV.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do CEFET/MG pelos ensinamentos e contribuições.

Aos funcionários do laboratório da PUC-MG, campus Contagem, por permitir a utilização de equipamentos fundamentais para a construção desse trabalho.

Aos colegas de curso de Pós-Graduação, em especial ao Aderci de Freitas Filho pela colaboração na apresentação de trabalho em Congresso e ao Sinval Pedroso da Silva pelo auxílio em alguns ensaios.

Enfim, agradeço a todos que, embora não citados, colaboraram para a construção desse trabalho, principalmente com orações.

RESUMO

A nitretação por descargas elétricas (NDE) vem despontando como uma alternativa de baixo custo, que promove a junção do processo de usinagem por descargas elétricas com o de tratamento superficial, num mesmo equipamento e ao mesmo tempo. A solução aquosa contendo nitrogênio, utilizada como fluido dielétrico, sofre transformação devido ao complexo processo termoelétrico que ocorre durante a usinagem, formando nitretos de ferro. Ao longo do desenvolvimento do processo de NDE surgiram muitos questionamentos. Um deles é a influência da categoria da ureia utilizada na solução aquosa do fluido dielétrico como fonte de nitrogênio para o processo de nitretação. Este trabalho objetiva avaliar a interferência de diferentes categorias de ureia no processo de NDE em amostras de aço AISI 4140. Para tanto, foram utilizados três tipos de ureia: fertilizante, farmacológica e padrão analítico. A nitretação foi realizada em uma máquina de eletroerosão por penetração, usinando amostras de aço mergulhadas em soluções aquosas de ureia na concentração de 20 gramas por litro e utilizando eletrodos de cobre e de grafita. Observou-se a formação de duas camadas principais no processo: zona refundida (ZR) e zona afetada pelo calor (ZAC). A espessura destas camadas foi avaliada via microscopia óptica, sendo também avaliada a microdureza Vickers. Os resultados mostraram que a categoria da ureia utilizada influencia significativamente na espessura da camada nitretada. Para a ZAC a ureia de padrão analítico, associada ao eletrodo de cobre, propiciou a formação de uma camada com quase o dobro de espessura se comparada aos experimentos que utilizaram ureia fertilizante. Quando se empregou eletrodo de grafita não foi observada variação significativa na espessura da ZAC. Os valores da dureza não sofreram variações expressivas. As diferentes categorias de ureia utilizadas não interferiram significativamente na taxa de remoção de material (TRM) visto que a condutividade elétrica das soluções aquosas preparadas se manteve baixa.

Palavras-chave: Nitretação por descargas elétricas, ureia, aço AISI 4140, usinagem por descargas elétricas.

ABSTRACT

The nitriding by electrical discharges is emerging as a low cost alternative that promotes the junction of the machining process by electrical discharges with the surface treatment in the same equipment at the same time. The dielectric fluid used in the process, an aqueous solution containing nitrogen, undergo transformations due to the thermoelectric complex process that took place during the machining process, forming iron nitrides.

Throughout the development of the electrical discharges nitriding process (EDN) emerged many questions. One is the influence of urea quality used in the aqueous solution of the dielectric fluid as the nitrogen source for the nitriding process. This study aims to evaluate the interference of urea quality in the EDN process using AISI 4140 steel samples. Therefore, were used three types of urea: fertilizer, pharmaceutical and analytical standard. The nitriding was performed on electrical discharge machine (EDM) per penetration, machining steel samples immersed in aqueous solutions of urea with concentration of 20 grams per liter and using copper or graphite electrodes. There was the formation of two main layers in the process: remelted zone (RZ) and the heat affected zone (HAZ). The thickness of these layers was evaluated by optical microscopy, and also evaluated the Vickers microhardness. The results showed that the category of the urea used influences the thickness of the nitrided layer. For HAZ, the analytical grade urea, associated with copper electrode, propitiated the formation of a layer with a thickness almost double when compared to the experiments that used fertilized urea. No significant variation in the thickness of HAZ was observed when graphite electrode was used. The values of hardness did not show expressive variations. The different categories of urea used did not significantly interfere on the material removal rate (MRR) since the electrical conductivity of the prepared aqueous solutions remained low.

Keywords: electrical discharges nitriding, urea, AISI 4140 steel, electrical discharges machining.

LISTA DE FIGURAS

Figura	1	- Diagrama de fases Fe-N	18
Figura	2	- Difratoograma de raios X	19
Figura	3	- Volume (V) perdido em função da força normal (F_N) imposta, mantendo velocidade de 8,3 m/s	20
Figura	4	- Volume (V) perdido em função da velocidade (v) imposta, mantendo força normal de 175 N	20
Figura	5	- Configuração do mecanismo de desgaste	21
Figura	6	- Representação esquemática do processo EDM	22
Figura	7	- Representação esquemática do equipamento EDM	23
Figura	8	- Camadas superficiais obtidas após usinagem por descargas elétricas	24
Figura	9	- Camadas superficiais obtidas após usinagem por descargas elétricas do aço H13	25
Figura	10	- Principais funções do fluido dielétrico	26
Figura	11	- Variação da corrente elétrica na formação das camadas ZAC e ZR	28
Figura	12	- Taxa de desgaste do aço AISI 4140	29
Figura	13	- Fórmula estrutural da ureia e do cianato de amônio	31
Figura	14	- Fluxograma da sequência de trabalho	33
Figura	15	- Fotos dos eletrodos ferramenta e corpos de prova	34
Figura	16	- Medição da condutividade da solução aquosa produzida com a ureia B	34
Figura	17	- Imagem do equipamento EDM utilizado	35
Figura	18	- Imagem do equipamento EDM, permitindo visualizar a cuba auxiliar	36
Figura	19	- Porta eletrodo e corpo de prova	37
Figura	20	- Jato de solução de ureia	37
Figura	21	- Imagem do painel de controle do equipamento EDM para ajuste dos parâmetros operacionais	38
Figura	22	- Imagem do microdurômetro utilizado	40
Figura	23	- Comparação entre as TRM utilizando eletrodo ferramenta de cobre	44
Figura	24	- Comparação entre as TD utilizando eletrodo ferramenta de cobre	44
Figura	25	- Comparação entre os valores de DVR utilizando eletrodo ferramenta de cobre	45
Figura	26	- Comparação entre as TRM utilizando eletrodo ferramenta de grafita	45
Figura	27	- Comparação entre as TD utilizando eletrodo ferramenta de grafita	46
Figura	28	- Comparação entre os valores de DVR utilizando eletrodo ferramenta de grafita	46
Figura	29	- Formação das camadas ZR e ZAC, observada via microscopia óptica, utilizando eletrodo de cobre.....	48
Figura	30	- Formação das camadas ZR e ZAC observada via microscopia óptica, utilizando eletrodo de grafita.....	49

Figura 31	- Comparação entre os valores de dureza das camadas ZR, ZAC e matriz, NDE utilizando eletrodo ferramenta de grafita..	51
Figura 32	- Comparação entre os valores de dureza das camadas ZR, ZAC e matriz, NDE utilizando eletrodo ferramenta de cobre ..	52
Figura 33	- Micrografia da amostra de aço AISI 4140 NDE, ureia A com eletrodo de cobre	52
Figura 34	- Comparação entre as espessuras das ZR e ZAC obtidas após NDE, utilizando eletrodo ferramenta de grafita	53
Figura 35	- Comparação entre as espessuras das ZR e ZAC obtidas após NDE, utilizando eletrodo ferramenta de cobre	53
Figura 36	- Identificação das fases majoritárias.....	55
Figura 37	- Espectros de DRX obtidos após NDE utilizando eletrodo ferramenta de cobre e solução aquosa de ureia A.....	55
Figura 38	- Espectros de DRX obtidos após NDE utilizando eletrodo ferramenta de cobre e solução aquosa de ureia B.....	56
Figura 39	- Espectros de DRX obtidos após NDE utilizando eletrodo ferramenta de cobre e solução aquosa de ureia C.....	56
Figura 40	- Espectros de DRX obtidos após NDE utilizando eletrodo ferramenta de grafita e solução aquosa de ureia A.....	57
Figura 41	- Espectros de DRX obtidos após NDE utilizando eletrodo ferramenta de grafita e solução aquosa de ureia B.....	57
Figura 42	- Espectros de DRX obtidos após NDE utilizando eletrodo ferramenta de grafita e solução aquosa de ureia C.....	58
Figura 43	- Formação das camadas ZR e ZAC, observada via microscopia eletrônica de varredura, utilizando ureia A e eletrodo de grafita.....	58
Figura 44	- Formação das camadas ZR e ZAC, observada via microscopia eletrônica de varredura, utilizando ureia B e eletrodo de grafita.....	59
Figura 45	- Formação das camadas ZR e ZAC, observada via microscopia eletrônica de varredura, utilizando ureia C e eletrodo de cobre	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Composição química do aço AISI 4140	33
Tabela 2	- Parâmetros operacionais do equipamento de EDM	38
Tabela 3	- Peso específico	39
Tabela 4	- Principais parâmetros adotados na DRX	41
Tabela 5	- Condutividade elétrica dos fluidos dielétricos	43
Tabela 6	- Valores médios de dureza obtidos com NDE utilizando eletrodo de cobre	50
Tabela 7	- Valores médios de dureza obtidos com NDE utilizando eletrodo de grafita	50
Tabela 8	- Ganho percentual de dureza em relação à matriz	51
Tabela 9	- Teor de ureia e nitrogênio total	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AISI	=	<i>American Iron and Steel Institute</i> – Instituto Americano do Ferro e Aço.
CEFET - MG	=	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.
DEMAT	=	Departamento de Engenharia de Materiais.
DRX	=	Difração de raios X.
DVR	=	Desgaste volumétrico relativo.
NDE	=	Nitreção por descargas elétricas.
EDM	=	<i>Electrical Discharge Machining</i> - Usinagem por Descargas Elétricas.
IUPAC	=	União Internacional de Química Pura e Aplicada.
MEV	=	Microscopia Eletrônica de Varredura.
TD	=	Taxa de desgaste do eletrodo ferramenta
TRM	=	Taxa de Remoção de Material.
UFU	=	Universidade Federal de Uberlândia.
ZAC	=	Zona afetada pelo calor.
ZR	=	Zona refundida.

LISTA DE SÍMBOLOS E FÓRMULAS

AgOCN	=	Cianato de prata.
Al	=	Alumínio.
at%	=	Percentual atômico.
atm	=	Atmosfera.
°C	=	Grau centígrado.
C	=	Carbono.
cm	=	Centímetro.
CO ₂	=	Gás carbônico.
CO(NH ₂) ₂	=	Ureia.
Cr	=	Cromo.
cSt	=	Centistokes.
Cu	=	Cobre.
Fe	=	Ferro.
Fe-α	=	Estrutura cristalina do ferro (cúbica de corpo centrado).
Fe ₂₋₃ N	=	ε Nitreto de ferro.
Fe ₄ N	=	γ' Nitreto de ferro.
FeN	=	Nitreto de ferro.
F _N	=	Força normal.
g	=	Gramas.
gf	=	Gramas força.
g/L	=	Gramas por litro.
H ₂ CO ₃	=	Ácido carbônico.
H ₂ O	=	Água.
HV	=	Dureza Vickers.
m	=	Metro.
mm	=	Milímetro.
mN	=	MiliNewton
Mo	=	Molibdênio.
Mn	=	Manganês.
N	=	Newton.
N	=	Nitrogênio.
NH ₃	=	Amônia ou gás amoníaco.
NH ₄ Cl	=	Cloreto de amônio.
NH ₄ OCN	=	Cianato de amônio.
NH ₄ OH	=	Hidróxido de amônio.
Ni	=	Níquel.
O	=	Oxigênio.
pm	=	Picometro.
P	=	Fósforo.
p.	=	Página.
Pb(CNO) ₂	=	Cianato de chumbo II.
PbO	=	Óxido de chumbo II.
r	=	Raio.

s	=	Segundo.
Si	=	Silício.
Ti	=	Titânio.
TiN	=	Nitreto de titânio.
V	=	Vanádio.
v	=	Velocidade.
V	=	Volume.
w	=	Watt.
Ti6Al4V	=	Liga de titânio
42CrMo4	=	Liga de cromo.
μm	=	Micrometro.
μs	=	Micro segundos.
$\mu\text{S/cm}$	=	MicroSiemens por centímetro.
δ	=	Peso específico.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Justificativa	16
1.2	Objetivos	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Nitretação	18
2.2	Usinagem por descargas elétricas	21
2.3	Nitretação por descargas elétricas	27
2.4	Ureia	29
3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	33
3.1	Materiais do eletrodo ferramenta e do corpo de prova	33
3.2	Fluido dielétrico	34
3.3	Equipamento de usinagem	35
3.4	Desempenho da usinagem por EDM	38
3.5	Dureza	40
3.6	Difração de raios X	41
3.7	Metalografia	41
3.8	Microscopia Eletrônica de Varredura	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1	Avaliação do desempenho do processo de EDM	43
4.2	Formação das camadas nitretadas	47
4.3	Dureza	50
4.4	Espessura das camadas nitretadas	53
4.5	Difração de raios X	54
4.6	Microscopia eletrônica de varredura	58
4.7	Análise química das ureias	60
5	CONCLUSÃO	61
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	62
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
	ANEXO A - Ficha de informações sobre a ureia C	65
	ANEXO B - Ficha de informações sobre a ureia A	69
	ANEXO C - Ficha de informações sobre a ureia B	80

ANEXO D - Laudo de análise da ureia A	83
ANEXO E - Laudo de análise da ureia B	84
ANEXO F - Laudo de análise da ureia C	85

1. INTRODUÇÃO

A usinagem por descargas elétricas (EDM) é um processo termoelétrico bastante complexo que efetua a remoção de material da superfície do material condutor através de descargas elétricas. A passagem de corrente elétrica entre os eletrodos ferramenta e corpo de prova gera um canal de plasma, que pode ser aproveitado para promover a implantação de elementos químicos, metálicos ou não, em superfícies metálicas.

Os elementos químicos de interesse devem estar presentes no eletrodo ferramenta ou no fluido dielétrico (Kumar et al, 2009), o que tem promovido diversos estudos com o uso de diferentes fluidos dielétricos, visando possibilitar o enriquecimento superficial de ligas com nitrogênio, carbono e outros elementos.

A técnica de enriquecimento superficial com nitrogênio no aço permite a melhoria das características superficiais da liga, aumentando a dureza do material e sua resistência ao desgaste por deslizamento (Raslam, 2015), tornando o uso de fluidos dielétricos contendo nitrogênio uma das aplicações atrativas de EDM.

1.1 Justificativa

O processo de EDM é o método de usinagem não tradicional, essencialmente térmico, podendo as energias geradas durante a EDM serem aproveitadas para enriquecer superfícies metálicas (Raslam, 2012). A nitretação por descargas elétricas (NDE) é uma das maneiras de se aproveitar estas energias, promovendo melhorias na superfície metálica.

Ao longo do desenvolvimento do processo NDE surgiram muitos questionamentos. Um deles é a influência da categoria da ureia utilizada na solução aquosa do fluido dielétrico como fonte de nitrogênio para o processo de nitretação. O nitrogênio usado no processo de nitretação é obtido a partir da solução aquosa de ureia empregada como fluido dielétrico no processo EDM.

1.2 Objetivos

Este trabalho objetiva avaliar diferentes categorias de ureia no processo de NDE de amostras de aço AISI 4140. Para tanto, foram utilizados três tipos de ureia: fertilizante, farmacológica e padrão analítico.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Investigar a interferência das soluções aquosas de ureia nos parâmetros que avaliam o desempenho da usinagem, a saber: taxa de remoção de material (TRM), taxa de desgaste do eletrodo ferramenta (TD) e desgaste volumétrico relativo (DVR).
- Observar por meio de microscopia óptica a formação da zona refundida (ZR) e da zona afetada pelo calor (ZAC).
- Utilizar as imagens obtidas por microscopia óptica para medir a espessura da ZR e da ZAC.
- Medir a dureza da ZR e da ZAC.
- Determinar, por meio da difração de raios X (DRX), os nitretos formados.
- Observar a formação da ZR e da ZAC utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

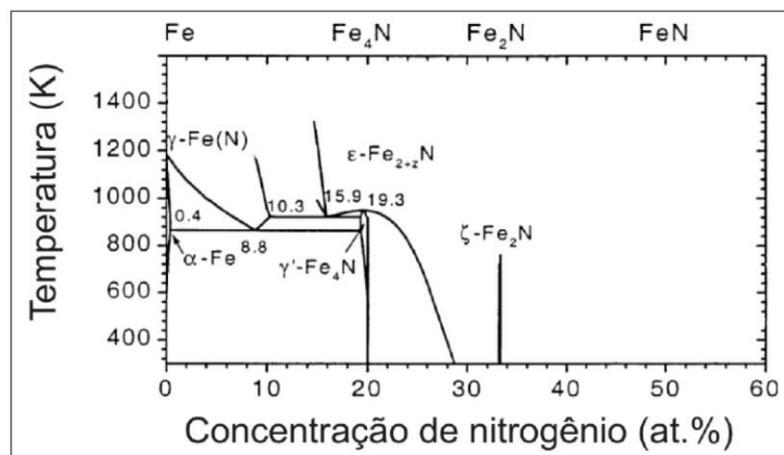
2.1 Nitretação

A nitretação do aço é uma das técnicas que visa a modificação superficial, permitindo modificar as características superficiais da liga aumentando, em geral, a dureza, a resistência: à corrosão, à fadiga e ao desgaste.

O processo de nitretação ocorre por difusão de átomos de nitrogênio no interior do retículo cristalino de ligas metálicas. Em ligas ferrosas é esperada a difusão intersticial do nitrogênio, visto que os átomos de nitrogênio ($r = 75\text{pm}$) são menores que os átomos de ferro ($r = 126\text{pm}$), permitindo o encaixe nas posições intersticiais.

Entretanto o nitrogênio não seria tão pequeno a ponto de ocupar diversas posições intersticiais, o que acarreta a formação de nitretos de ferro quando o limite de solubilidade é ultrapassado. Forma-se um sistema semelhante ao ferro carbono em certos aspectos (ZAGONEL, 2006). Além disso, elementos de liga podem interferir no processo de difusão do nitrogênio. Os processos de nitretação, normalmente, ocorrem na faixa de temperatura de 500 a 590°C, portanto qualquer mudança de fase estaria relacionada à precipitação de nitretos ou carbonitretos, dependendo da presença de carbono na liga ou do meio nitretante. A figura 1 apresenta o diagrama de fases ferro-nitrogênio.

Figura 1 – Diagrama de fases Fe-N.



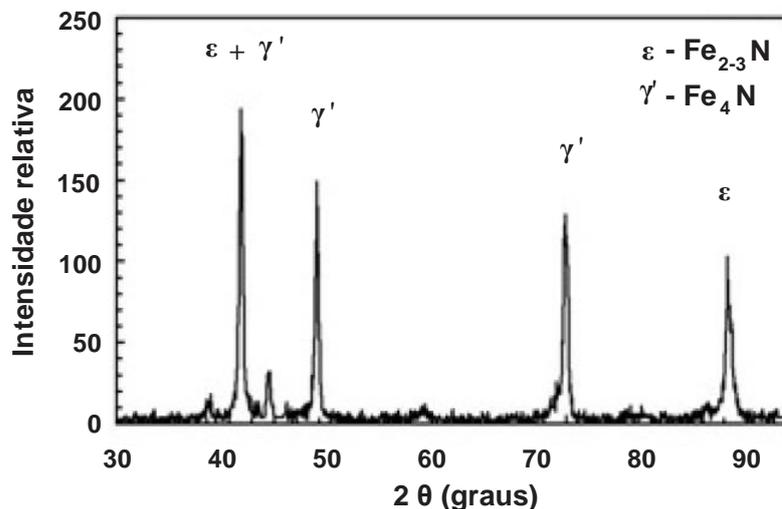
Fonte: ZAGONEL, 2006.

O primeiro nitreto a se formar é denominado de γ' , de estequiometria Fe_4N , cúbico de face centrada e com composição de nitrogênio próxima de 5,9% em massa. Caso o teor de nitrogênio exceda o valor de 6,1% em massa, ocorre a precipitação simultânea do nitreto ε , de estequiometria Fe_{2-3}N , com estrutura cristalina hexagonal compacta. Para teores de nitrogênio acima de 8%, o único nitreto presente será o tipo ε . [...]

A precipitação desses nitretos ocorre de duas formas: na formação da camada de compostos, que se situa na superfície mais externa do material e na zona de difusão [...] (SANTOS, 2013).

A figura 2 apresenta o difratograma de raios X com os picos típicos dos nitretos.

Figura 2 – Difratograma de raios X.



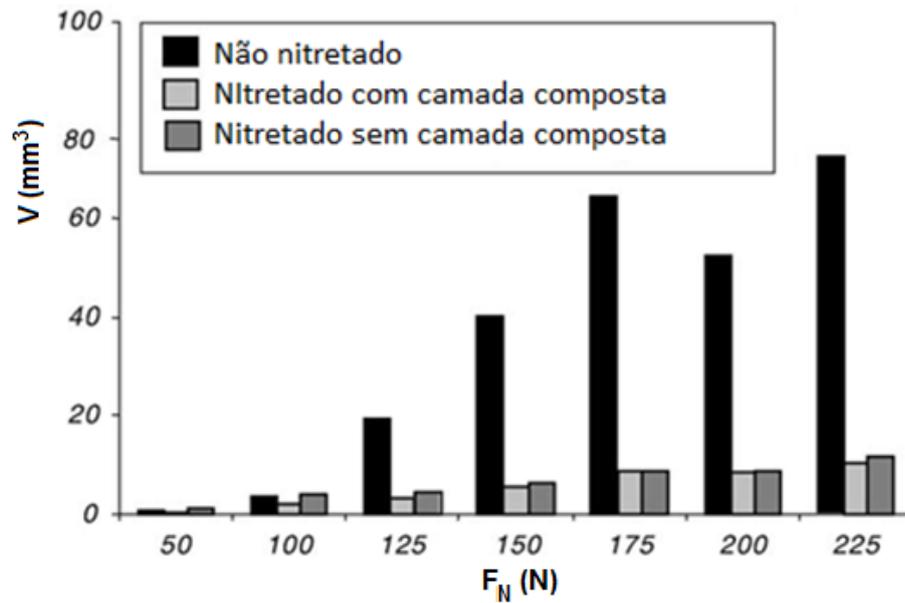
Fonte: MELLO, 2010.

Para Zambon et al (2010) a fase ε é desejada para aplicações que requerem resistência ao desgaste e à fadiga sem choque. A fase γ' tem maior tenacidade, porém menor dureza e menor resistência ao desgaste e é aplicada em trabalhos com choque ou cargas severas.

Larbi et al (2005) analisou o desempenho do aço 42CrMo4 nitretado a gás quando submetido a mecanismos de desgaste. No processo de nitretação foram formadas as camadas de difusão com espessura de aproximadamente 300 μm e a composta, mais superficial, com espessura de aproximadamente 10 μm , a camada branca faz parte desta camada.

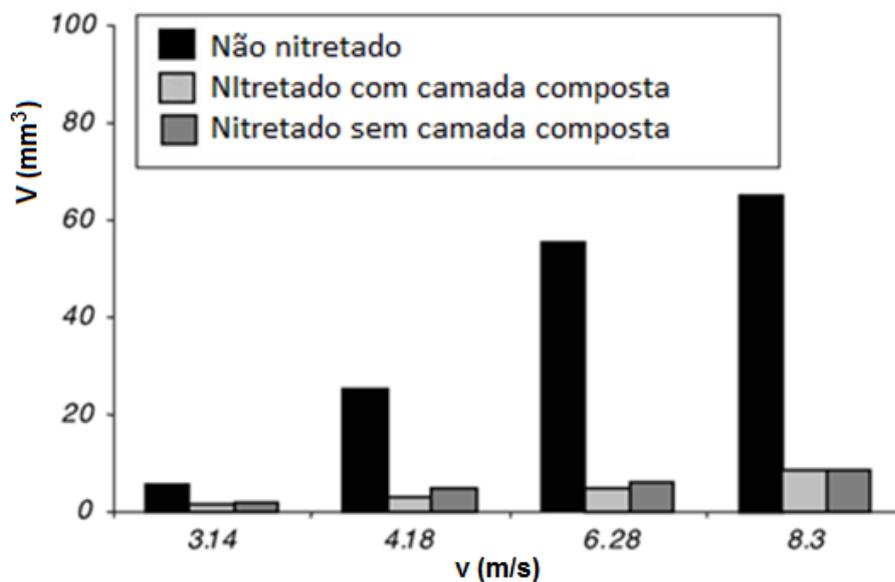
As figuras 3 e 4 representam a evolução do desgaste de acordo com a força normal de contato e a velocidade relativa entre o aço 42CrMo4 e o cilindro utilizado no mecanismo de desgaste.

Figura 3 – Volume (V) perdido em função da força normal (F_N) imposta, mantendo velocidade de 8,3m/s.



Fonte: LARBI et al., 2005.

Figura 4 – Volume (V) perdido em função da velocidade (v) imposta, mantendo força normal de 175N.

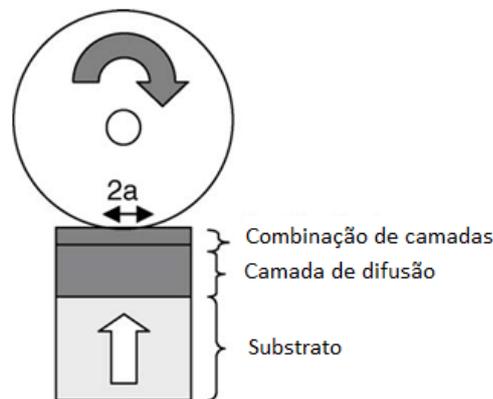


Fonte: LARBI et al., 2005.

Em ambos os casos fica evidente que o processo de nitretação promove maior resistência ao desgaste adesivo. A comparação entre o nível de desgaste do aço com camada composta e sem ela evidencia que o nível de resistência ao desgaste é praticamente o mesmo, o que permite concluir que a camada composta não apresenta aderência satisfatória, sendo eliminada rapidamente por delaminação quando se inicia o mecanismo de desgaste. Portanto, a resistência ao desgaste é determinada pela camada de difusão.

A figura 5 mostra a configuração do procedimento experimental utilizado para os testes de desgaste, este arranjo induz ao desgaste adesivo.

Figura 5 – Configuração do mecanismo de desgaste.



Fonte: LARBI et al., 2005.

2.2 Usinagem por descargas elétricas – EDM (*Electrical discharge machining*)

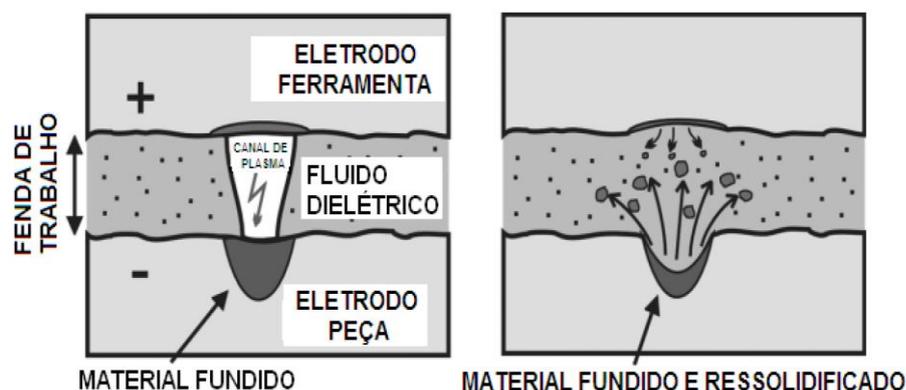
O processo de EDM é um processo termoelétrico bastante complexo que usa descargas elétricas para efetuar a remoção de material da superfície da peça condutora.

Para Kumar et al. (2009) o EDM originou-se por volta de 1770 quando Joseph Priestly, cientista inglês, descobriu os efeitos erosivos das descargas elétricas. Mas somente a partir de 1930, foram realizados os primeiros trabalhos de usinagem de metais com descargas elétricas. Merecendo destaque o trabalho dos cientistas B. R. e N. I. Lazarenko que inventaram o RC (circuito regenerador), permitindo manter a largura da fenda entre o eletrodo ferramenta e a peça, reduzindo o arco e tornando o

EDM mais útil (EL-HOFY, 2005). Desde então o EDM tem sido estudado e sua evolução é constante.

Segundo Camargo et al (2006), ao se aplicar, através de fonte de potência, uma diferença de potencial entre duas placas condutoras de eletricidade, chamadas de eletrodo ferramenta e peça, ocorrem descargas elétricas entre elas. É necessário que as placas estejam separadas por uma pequena distância, denominada fenda de trabalho ou *gap* de aproximadamente 0,05 a 1,0mm, pois, no caso delas se encostarem ocorrerá curto-circuito o que implica em não liberação de descargas elétricas. A duração das descargas elétricas é de apenas alguns milionésimos de segundo, mas as faíscas geradas podem originar temperaturas de até 20.000°C e intensidade de até 1.000W/m². O fluido existente entre a peça e o eletrodo ferramenta devido às altas temperaturas se transforma em um vapor eletrolítico e a pressão pode atingir valores de 200atm. A energia térmica origina o canal de plasma entre o anodo e o catodo provocando a fusão da superfície da peça. Pela teoria da ionização por impacto, os elétrons liberados no catodo se aceleram e colidem com as moléculas do dielétrico, favorecendo a liberação de mais elétrons e íons positivos, iniciando uma reação de alta energia (SANTOS, 2013). “Após a descarga elétrica, ocorre formação de uma cratera e certa quantidade de material fundido deposita-se na superfície da cratera, devido à tensão superficial e aos efeitos de resfriamento” (CAMARGO et al., 2006). O resfriamento do material é provocado pelas paredes frias da própria cratera e pelo fluido dielétrico. A figura 6 representa esquematicamente o processo EDM.

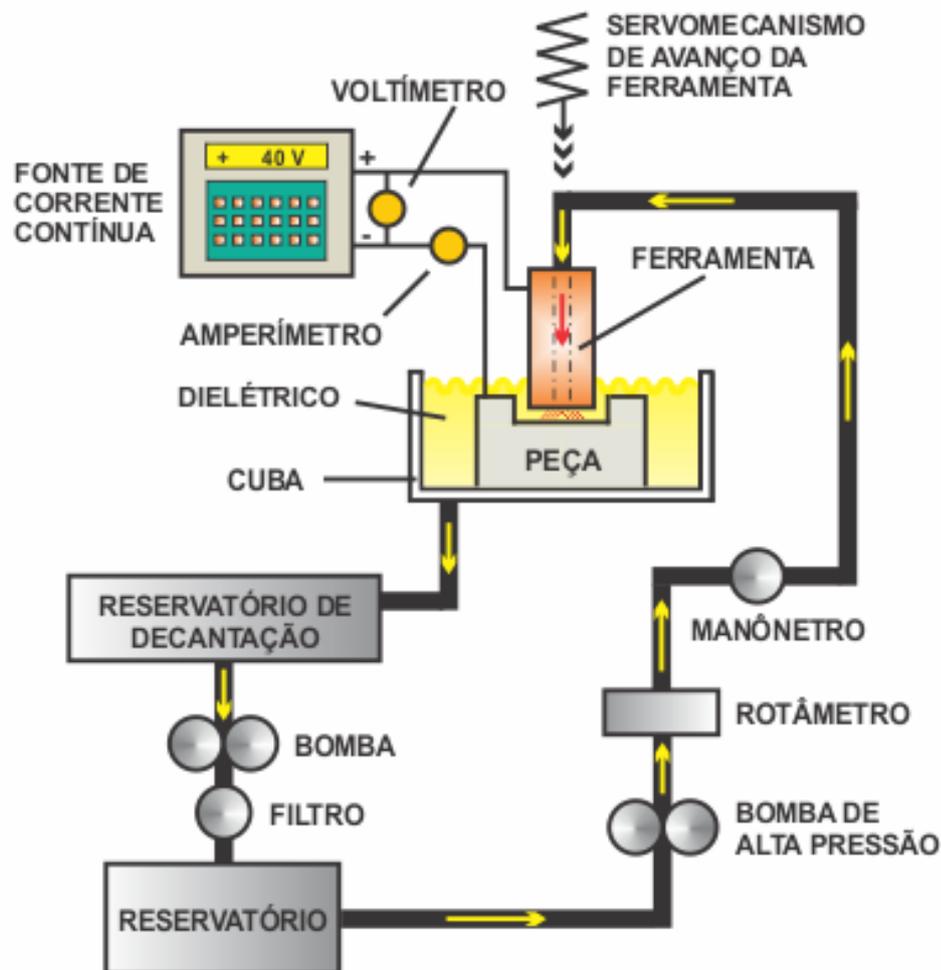
Figura 6 – Representação esquemática do processo EDM.



Fonte: BLEYS et al., 2006.

A intensidade de corrente, a duração de descarga e as propriedades físicas do eletrodo e da peça estão diretamente relacionadas à quantidade de material fundido (SANTOS, 2013). O servomecanismo da máquina de EDM controla a amplitude da *gap* que depende da intensidade da corrente de descarga. Para Kumar et al (2009) a polaridade, a duração de pulso ou ciclo, o intervalo de pulso e o pico de corrente estão entre as configurações básicas da máquina de EDM. Cobre ou grafita são os eletrodos ferramenta mais utilizados, pois apresentam alta condutividade elétrica, alto ponto de fusão e baixo. A figura 7 mostra a representação esquemática de um equipamento EDM.

Figura 7 – Representação esquemática do equipamento EDM.

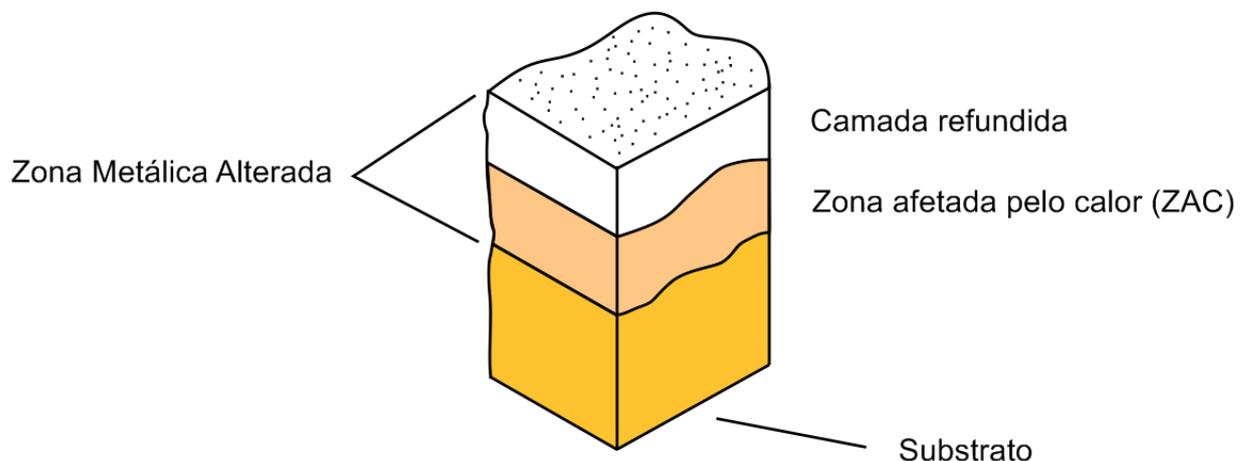


Fonte: adaptado de CAMARGO et al., 2006.

O mecanismo termoelétrico de remoção de material provoca alterações químicas e estruturais nas camadas superficiais, estas alterações são proporcionais à energia de descarga. A zona refundida (ZR) é bastante heterogênea e de difícil especificação, ela apresenta mudanças químicas provocadas pela interação com subprodutos do fluido dielétrico e do próprio eletrodo ferramenta, bem como modificações provocadas pela rápida solidificação do material. As propriedades mecânicas da zona refundida são completamente diferentes das propriedades do material da peça. Quando são utilizados eletrodos de cobre, menos de 1% do mesmo é encontrado na zona refundida (SANTOS, 2013).

Abaixo da ZR encontra-se a zona afetada pelo calor (ZAC) que não sofreu fusão, sendo apenas parcialmente afetada pela temperatura. Esta camada não tem contato com o fluido dielétrico, mas o calor irradiado pelo plasma é capaz de alterar sua estrutura e composição química. Ocorre o fenômeno de difusão de átomos de áreas com maior concentração para aquelas de menor concentração atômica (SANTOS, 2013). Várias camadas compõem a ZAC e a diferenciação entre elas é complexa. As durezas da camada refundida e da ZAC dependem da corrente e da frequência usadas durante a usinagem, bem como da capacidade de condução de calor da peça (CAMARGO et al., 2006). A figura 8 apresenta esquematicamente as camadas superficiais após usinagem por descargas elétricas.

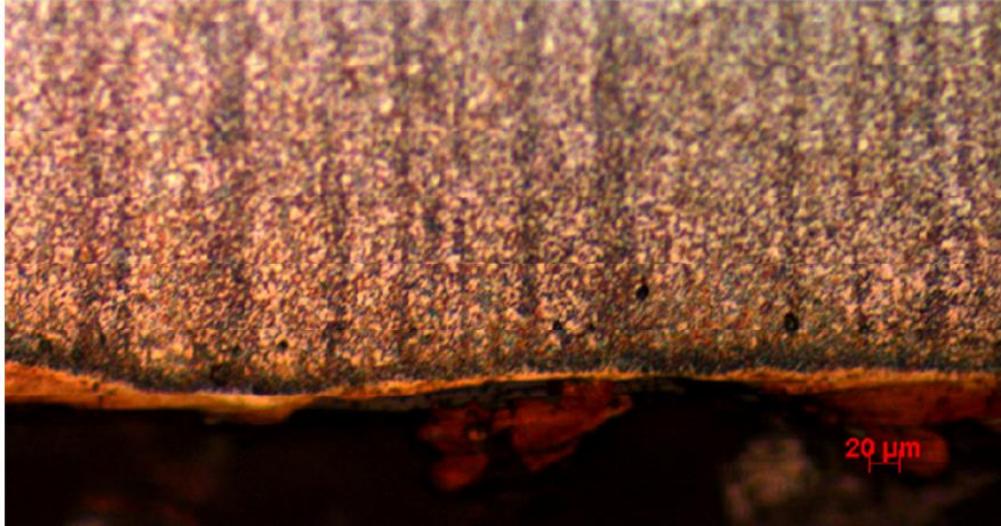
Figura 8 – Camadas superficiais obtidas após usinagem por descargas elétricas.



Fonte: KUMAR et al., 2009.

A figura 9 ilustra a formação da ZR e da ZAC obtidas após a usinagem por descargas elétricas do aço AISI H13.

Figura 9 - Camadas superficiais obtidas após usinagem por descargas elétricas do aço AISI H13.



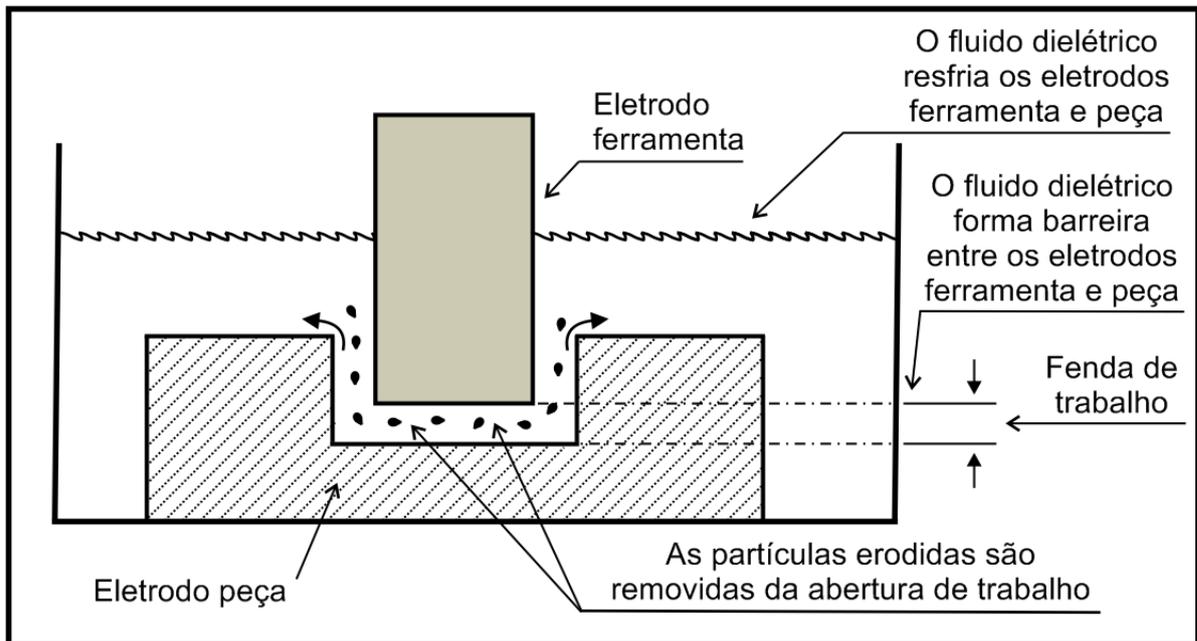
Fonte: SANTOS, 2015.

Os fluidos dielétricos devem apresentar algumas propriedades fundamentais:

- ser capaz de concentrar a faísca em canal estreito conduzindo ao aumento da densidade de energia e aumentando a taxa de remoção do material (TRM);
- viscosidade compatível com a função de remoção dos resíduos de usinagem para fora da região da fenda de trabalho, aproximadamente 3cSt (referente ao querosene);
- sem odor;
- agente refrigerante da peça; e
- não limitar a remoção de material da peça. Cabe destacar que menor TRM confere ao processo EDM melhor qualidade, bem como valores de rugosidade menores para a superfície da peça usinada.

Baseado nessas propriedades os fluidos mais utilizados são hidrocarbonetos, água deionizada ou soluções aquosas. A figura 10 ilustra as principais funções do fluido dielétrico.

Figura 10 – Principais funções do fluido dielétrico.



Fonte: Adaptado de SOMMER, 2017.

As principais vantagens e desvantagens do processo EDM estão listadas a seguir.

Vantagens:

- o processo é econômico para a usinagem de materiais de dureza elevada;
- mantém alto grau de precisão, sendo recomendado na usinagem de matrizes e ferramentas;
- peças com geometrias complexas podem ser produzidas sem maiores dificuldades;
- seções altamente delicadas podem ser processadas sem qualquer risco de distorção, porque nesse processo não é aplicada pressão direta da ferramenta sobre a peça;
- microfuros podem ser produzidos com facilidade e precisão (IGNOU, 2016).

Desvantagens e limitações:

- materiais não condutores não podem ser processados por EDM;
- a TRM encontrada em processos EDM é consideravelmente baixa se comparada com processo de usinagem convencional (IGNOU, 2016).

2.3 Nitretação por descargas elétricas – NDE

As energias geradas durante a EDM podem ser aproveitadas para enriquecer superfícies metálicas (Raslan 2015). Muitos estudos têm sido conduzidos com o uso de diferentes fluidos dielétricos visando possibilitar o enriquecimento superficial de ligas com nitrogênio, carbono, boro entre outros elementos. Modificações significativas nas propriedades superficiais têm sido relatadas e a viabilidade do processo está bem estabelecida. Assim, a técnica de enriquecimento com nitrogênio de superfícies metálicas, utilizando descargas elétricas, torna-se atrativa e economicamente viável.

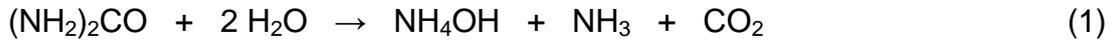
Diversos pesquisadores têm investigado as modificações superficiais ocorridas em metais quando se utiliza, como fonte de nitrogênio, soluções aquosas de ureia no fluido dielétrico em processos de EDM.

Yan et al. (2005) investigaram o uso de EDM com solução de ureia para examinar as modificações ocorridas durante usinagem de peças metálicas de titânio puro. Neste trabalho o objetivo era que o nitrogênio decomposto da solução de ureia fosse transferido para os corpos de prova. As análises efetuadas por esse grupo de pesquisadores evidenciaram a formação de nitreto de titânio, com modificações superficiais nos corpos de prova, refletidas, principalmente, na melhoria das características de desgaste por deslizamento e atrito.

Camargo et al. (2006) realizaram a nitretação de liga de titânio, Ti6Al4V, utilizando o processo EDM com solução de ureia como fluido dielétrico e os resultados obtidos mostraram a formação de uma camada nitretada, que permitiu aumento de cerca de 60% na dureza em relação à matriz.

Santos (2013) identificou modificações estruturais ocorridas em aço AISI 4140, como aumento de dureza superficial e formação de nitretos de ferro, após submeter amostras ao processo de nitretação por EDM, utilizando solução aquosa de ureia como fluido dielétrico. Nesse trabalho, Santos apresenta um modelo para o processo NDE, caracterizando a inserção do nitrogênio por implantação iônica e não por difusão.

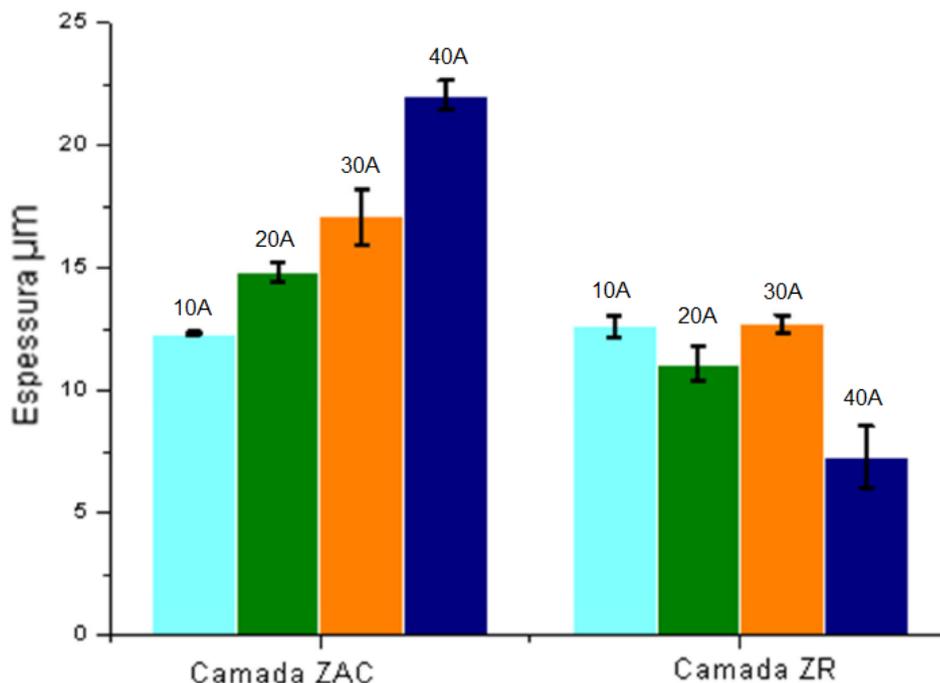
O fenômeno denominado ionização por impacto causa ruptura do dielétrico gerando NH_3 gasosa que, por sua vez, se decompõe em N_2 e H_2 , conforme as equações:



O N_2 e H_2 irão se difundir no canal de plasma na forma de íons, como N^+_2 , N^+ e H^+_2 . Por serem positivos, eles serão impulsionados para a superfície do eletrodo peça (catodo) e, pela alta energia cinética que adquirem, implantam-se no interior da mesma. Íons oriundos do eletrodo ferramenta (anodo), cobre e carbono, também podem ser formados (SANTOS, 2013).

Santos (2015) avaliou a influência da corrente elétrica no processo de NDE do aço AISI H13, utilizando soluções aquosas de ureia 10g/LI, e percebeu que a corrente não influencia significativamente a espessura da ZR quando se utiliza corrente de 10, 20 ou 30A. A formação da ZAC foi influenciada pela corrente, sendo obtida maior espessura para esta camada, quando se utilizou corrente de 40A, conforme evidencia a figura 11.

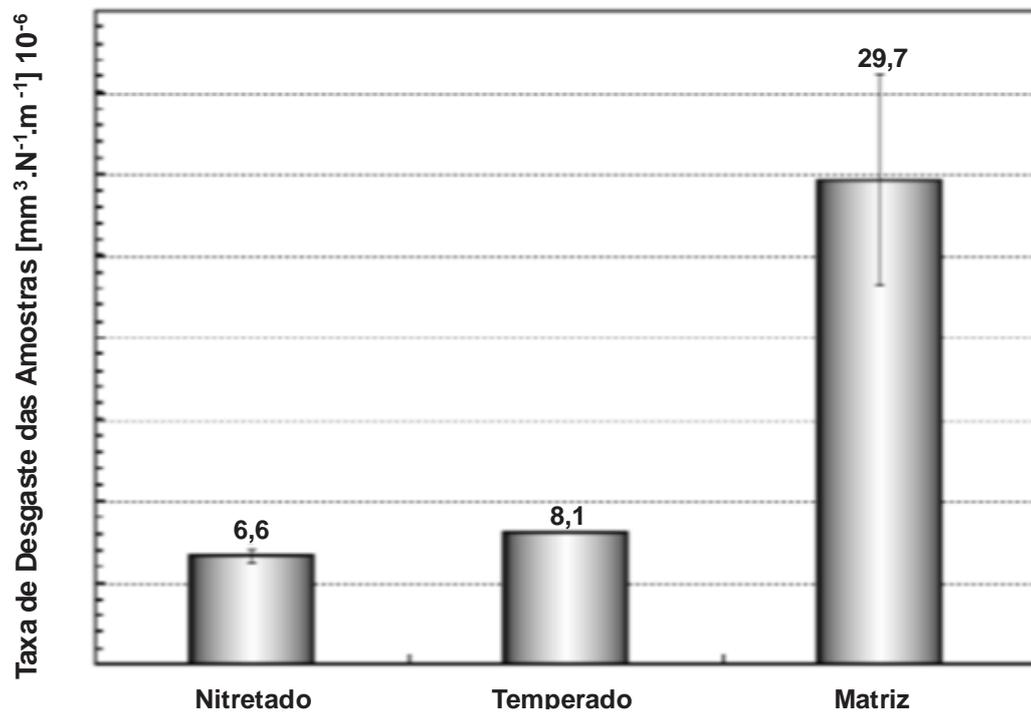
Figura 11 - Variação da corrente elétrica na formação das camadas ZAC e ZR.



Fonte: Adaptado de SANTOS, 2015.

Raslan (2015) avaliou o desgaste sofrido pelo aço AISI 4140, nitretado e temperado, tendo observado que as taxas de desgaste ficaram cerca de 3 vezes menor para os aços tratados se comparadas ao aço não tratado, conforme figura 12. Também, foi observado que o desgaste do aço nitretado apresentou taxa de desgaste 18% menor que o aço temperado, permitindo concluir que esse desempenho estaria associado à formação de nitretos de ferro.

Figura 12 – Taxa de desgaste do aço AISI 4140.



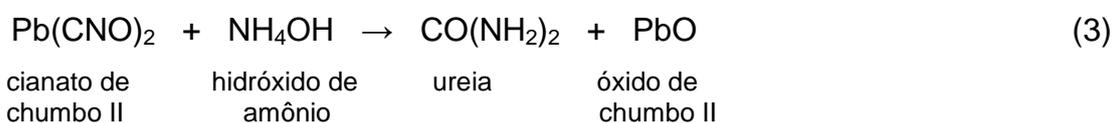
Fonte: RASLAN, 2015.

2.4 Ureia

A ureia ocupa lugar de destaque na história da química. A sua síntese é apontada por muitos historiadores como o marco na discussão sobre a força vital. Acreditava-se que substâncias orgânicas, produzidas por seres vivos, não poderiam ser sintetizadas em laboratório porque necessitavam de uma força misteriosa para promover a reação e só os organismos vivos teriam essa força vital. A ureia é excretada na urina de diversos animais, inclusive pelo homem.

Em 1828, Whöler na tentativa de produzir cianato de amônio, NH_4OCN , substância tipicamente inorgânica, promoveu a reação entre soluções aquosas de cianato de prata, AgOCN , e cloreto de amônio, NH_4Cl . Entre os produtos da síntese Whöler observou a presença de cristais brancos, cuja análise revelou ser ureia, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, substância presente na urina de mamíferos.

Interessante destacar que, comparando diversos autores, não há consenso sobre a reação executada por Whöler. Para Farias (2005), Whöler promoveu a reação entre cianato de chumbo, água e amônia obtendo ureia e hidróxido de chumbo. Para Vidal e Porto (2011), Whöler aqueceu juntos os sais de cianato de potássio e sulfato de potássio. O que se repete em todos os autores é a presença de substâncias tipicamente inorgânicas, onde são encontrados os grupos cianato (OCN^-) e amônio (NH_4^+), que originam o composto cianato de amônio, NH_4OCN . A amônia em água origina o hidróxido de amônio. Ainda, para Vidal e Porto (2011), Whöler também teria aquecido o cianato de amônio transformando esse composto em ureia. Esses fatos vêm apenas corroborar a ideia de que em ciência uma teoria, ou o fim dela, não se baseia em uma única reação.

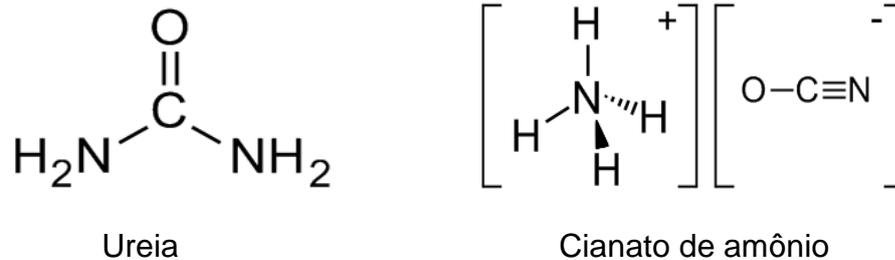


A síntese da ureia, realizada por Whöler, não derrubou definitivamente a teoria do vitalismo, visto que muitos cientistas da época afirmaram que de alguma forma organismos vivos estariam presentes no meio reacional, porém, promoveu forte abalo nesta teoria.

É importante salientar que o artigo publicado por Whöler, em 1828, não especulava sobre o vitalismo, mas sim sobre outro fenômeno: o isomerismo. A ureia e o cianato de amônio são duas substâncias com propriedades químicas diferentes que apresentam a mesma fórmula molecular ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), divergindo no arranjo dos

átomos. Substâncias com estas características são classificadas como isômeras. A figura 13 apresenta as fórmulas estruturais da ureia e do cianato de amônio, permitindo observar os diferentes arranjos dos átomos. Destaca-se o fato da ureia ser substância molecular e o cianato de amônio ser composto iônico.

Figura 13 – Fórmula estrutural da ureia e do cianato de amônio.



As ureias pertencem a classe funcional das amidas, sendo a ureia uma amida não-substituída, ou seja, aquela com dois grupos NH_2 ligados à carbonila ($\text{C}=\text{O}$). As ureias são diamidas do ácido carbônico, substância instável que sofre decomposição espontânea em gás carbônico e água, conforme equação 5. No entanto, diversos ésteres e amidas derivados do ácido carbônico são compostos estáveis e têm aplicações importantes (COSTA et al, 2003).



No presente trabalho, o termo ureia será sempre atribuído à ureia não-substituída.

“A ureia é um pó cristalino branco, com sabor ligeiramente amargo, livremente solúvel em água.” (GOODMAN et al., 1987, p. 581). É quase inodora, mas pode desenvolver odor típico de amônia. Ligeiramente higroscópica, seu nome IUPAC é diaminometanal, mas também pode ser chamada de carbamida.

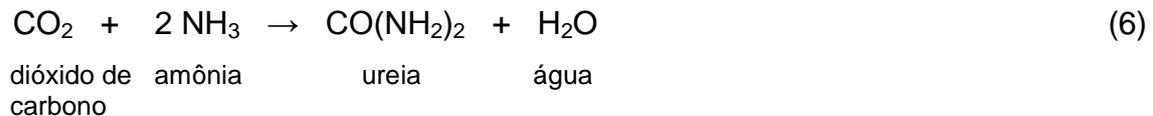
Destacam-se também as seguintes características da ureia (THE MERCK INDEX, 1996):

- estrutura prismática tetragonal;
- temperatura de fusão de $132,7^\circ\text{C}$;

- em temperaturas superiores à de fusão pode sofrer decomposição;
- massa molar igual a 60,06g/mol;
- composição centesimal C 20%, H 6,71%, N 46,65% e O 26,64%;
- densidade igual a 1,32g/cm³;
- solução aquosa 10% m/m apresenta densidade igual a 1,027g/cm³ e pH 7,2;
- categoria terapêutica em humanos: diurético.

Os empregos mais importantes da ureia são nos fertilizantes sólidos, com alto-nitrogênio (46%), no suplemento proteico de rações para gado, e em plásticos em combinação com formaldeído e furfural. A ureia também é usada extensamente em adesivos, recobrimentos, agentes contra o encolhimento de tecidos e em resinas trocadoras de íons. [...] A produção anual está acima do 3,5 milhões de toneladas nos Estados Unidos. (SHREVE; BRINK JR., 2008).

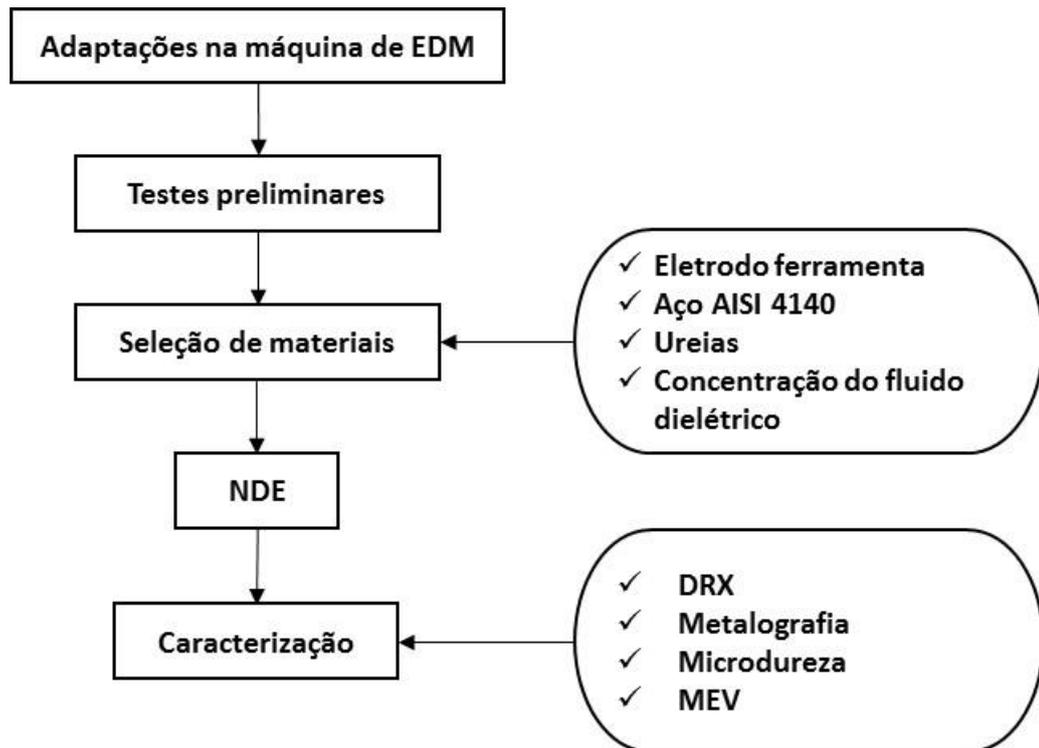
A síntese industrial da ureia é realizada, em condições adequadas, a partir da reação entre gás carbônico e gás amoníaco (amônia):



3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O trabalho foi desenvolvido em amostras de aço AISI 4140 que foram submetidas à nitretação por descargas elétricas, utilizando solução aquosa de ureia como fluido dielétrico. A Figura 14 ilustra o fluxograma que sintetiza a sequência do trabalho.

Figura 14 – Fluxograma da sequência de trabalho.



3.1. Materiais do eletrodo ferramenta e do corpo de prova

Os corpos de prova cilíndricos foram confeccionados em aço AISI 4140 com dimensões de 15mm de comprimento e 19mm de diâmetro. O aço foi submetido à análise química utilizando espectrômetro de emissão óptica SPECTROMAXx, modelo LMXM5M-BT. A tabela 1 apresenta os resultados médios obtidos após análise química de três amostras do aço AISI 4140.

Tabela 1 – Composição química do aço AISI 4140.

Elemento	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Fe
Teor (%m/m)	0,402	0,803	0,012	0,003	0,327	0,893	0,183	97,167

Fonte: SILVA, 2016.

Alguns corpos de prova foram previamente seccionados ao meio, visando à preparação metalográfica, conforme ilustrado na figura 15. Segundo Santos (2013), não há influência do efeito de borda. Se os corpos de prova fossem seccionados após a usinagem poderia ocorrer quebra da camada refundida. Para os eletrodos ferramenta, também cilíndricos, com 22mm de diâmetro e 30mm de comprimento, foram utilizados grafita e cobre eletrolítico.

Figura 15 – Fotos dos eletrodos ferramenta e corpos de prova.



Fonte: Fotos da autora.

3.2. Fluido dielétrico

No preparo dos fluidos dielétricos foi utilizada água deionizada, obtida a partir da água potável fornecida pela empresa de abastecimento da região metropolitana de Belo Horizonte. Para deionizar a água foi utilizado deionizador portátil a base de resina. A condutividade da água antes da deionização era de $160\mu\text{S}/\text{cm}$ e após a deionização passou a ser de $0\mu\text{S}/\text{cm}$. O controle da condutividade foi efetuado com condutivímetro portátil que opera na faixa de 0 a $1999\mu\text{S}/\text{cm}$, incerteza de $\pm 2\%$, ilustrado na figura 16.

Figura 16 – Medição da condutividade da solução aquosa produzida com a ureia B.



Fonte: Foto da autora.

Neste trabalho foram estudadas três ureias diferentes: fertilizante, farmacológica (manipulações tópicas) e padrão analítico, cujas fichas químicas encontram-se nos Anexos A, B e C, respectivamente.

Foram preparados 45 litros de soluções aquosas de concentração 20g/L, com as ureias A, B e C, isoladamente. Para medir a massa da ureia foi utilizada balança analítica de precisão, BEL Engineering M214Ai, com resolução 0,0001g e linearidade $\pm 0,0003g$. Esta mesma balança foi utilizada na avaliação dos corpos de prova, antes e após a NDE, permitindo verificar o desempenho da usinagem.

Santos (2015) realizou a NDE do aço AISI H13 utilizando soluções aquosas de ureia de concentrações 10, 20, 30 e 40g/L e notou que a concentração de ureia não influenciou a espessura das camadas ZR e ZAC. A opção de trabalhar com soluções de concentração de 20g/L baseou-se na baixa condutividade elétrica apresentada. Destacando-se que a alta condutividade do fluido dielétrico dificulta a abertura do arco.

3.3. Equipamento de usinagem

A usinagem foi realizada em equipamento EDM por penetração, Eletroplus – 540/SERVSPARK, com adaptações, conforme ilustrado nas figuras 17 e 18.

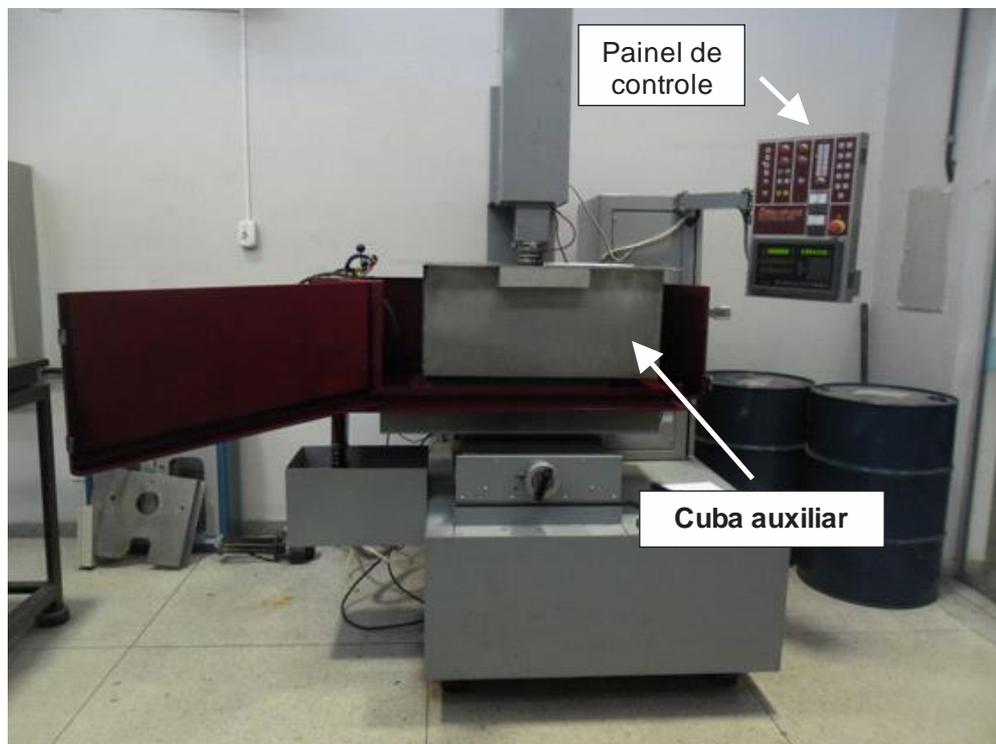
Figura 17 – Imagem do equipamento EDM utilizado.



Fonte: Foto da autora.

O equipamento foi adaptado para trabalhar com soluções aquosas de ureia, que apresentam potencial corrosivo. Para isso foi fabricada uma cuba auxiliar, com capacidade para 105 litros, em aço AISI 304, evitando-se assim o contato da solução de ureia com componentes do equipamento EDM. A cuba auxiliar foi instalada dentro do tanque de trabalho da máquina EDM. A figura 17 ilustra a montagem. Foi necessário preparar apenas 45 litros de solução, suficientes para que o suporte que prendia o corpo de prova ficasse submerso na solução de ureia.

Figura 18 – Imagem do equipamento EDM, visualizando a cuba auxiliar.



Fonte: Foto da autora.

A figura 19 mostra os suportes para eletrodo ferramenta e corpo de prova, durante a NDE. Os parafusos prendem o eletrodo e o corpo de prova, permitindo a troca deles facilmente. O fluido dielétrico do equipamento circulava normalmente durante a usinagem, mas não mantinha contato com os eletrodos ou corpos de prova, esses se encontravam mergulhados na solução aquosa de ureia.

Figura 19 – Porta eletrodo e corpo de prova



Fonte: Foto da autora.

Durante a usinagem, por meio de bomba auxiliar modelo CD 30002 com vazão de 51 litros por minuto e pressão de 2 metros de coluna d'água, foi possível fazer a limpeza da fenda de trabalho entre os eletrodos ferramenta e corpos de prova, recirculando a solução de ureia. O jato era posicionado manualmente. A figura 20 mostra o jato de solução de ureia atuando sobre os eletrodos.

Figura 20 – Jato de solução de ureia.



Fonte: Foto da autora.

Os principais parâmetros operacionais empregados no equipamento de EDM estão especificados na tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros operacionais do equipamento de EDM.

Parâmetro	Especificação
Polaridade do eletrodo ferramenta	Positiva
Tensão	50 V
Corrente	40 A
Tempo de pulso (T_{on})	100 μ s
Tempo de pausa (T_{off})	1,5*
Fenda de trabalho (<i>gap</i>)	1,5*
Afastamento periódico da ferramenta	1,0*
Velocidade do servo	1,0*
Tempo de erosão	2,0 *

*Parâmetros ajustados diretamente no painel de controle do EDM.
 Fonte: Elaborada pela autora.

A figura 21 ilustra o ajuste dos parâmetros operacionais no equipamento EDM.

Figura 21 – Imagem do painel de controle do equipamento EDM para ajuste dos parâmetros operacionais.



Fonte: Foto da autora.

3.4. Desempenho da usinagem por EDM

O desempenho da usinagem foi avaliado por três parâmetros principais:

- TD: taxa de desgaste do eletrodo ferramenta;
- TRM: taxa de remoção de material do corpo de prova;
- DVR: desgaste volumétrico relativo.

Para caracterizar esses parâmetros a massa dos eletrodos e corpos de prova foi medida, utilizando balança digital, antes e após a usinagem. A tabela 3 apresenta os pesos específicos dos materiais adotados.

Tabela 3 – Peso específico.

Material	Peso específico δ (g/mm³)
Aço AISI 4140	0,00768
Cobre eletrolítico	0,00892
Grafita	0,00167

Fonte: Elaborado pela autora.

Inicialmente é avaliada a variação de massa apresentada pelos eletrodos e corpos de prova, segundo a equação 7.

$$\Delta m = m_i - m_f \quad (7)$$

Onde:

m_i = massa inicial (antes da usinagem)

m_f = massa final (após a usinagem)

Utilizando a equação 8 é possível calcular a quantidade de material desgastado do eletrodo ferramenta, determinando a TD.

$$TD = \Delta m / (\delta \cdot t) \quad (8)$$

Onde:

Δm = variação de massa do eletrodo ferramenta

δ = peso específico do material do eletrodo

t = tempo de usinagem

A TRM é determinada pela equação 9, caracterizando a eficiência de remoção de material durante a usinagem.

$$\text{TRM} = \Delta m / (\delta \cdot t) \quad (9)$$

Onde:

Δm = variação de massa do corpo de prova

δ = peso específico do aço AISI 4140

t = tempo de usinagem

O DVR caracteriza o desempenho do processo de EDM, sendo geralmente expresso em porcentagem e calculado pela relação entre TD e TRM, conforme a equação 10.

$$\text{DVR} = (\text{TD}/\text{TRM}) \cdot 100 \quad (10)$$

Os cálculos foram efetuados a partir das equações 8, 9 e 10 para um tempo de usinagem de 10 minutos. Os ensaios foram repetidos três vezes.

3.5 Dureza

A avaliação da dureza das camadas ZR e ZAC e também do substrato foi realizada por ensaios de microdureza Vickers (HV) com o auxílio de um microdurômetro Shimadzu modelo HVM-2T E, com microscópio óptico incorporado e software Easy Test HVM-AD para obtenção de imagens capturadas por meio de câmera digital incorporada ao equipamento, conforme figura 22. As medições foram efetuadas com carga de 98,07 mN (10 gf), durante 20 segundos.

Figura 22 – Imagem do microdurômetro utilizado.



Foto da autora.

3.6 Difração de raios X

A difração de raios X (DRX) foi realizada com corpos de prova submetidos a NDE com solução aquosa das ureias A, B e C, individualmente, visando verificar a formação dos nitretos de ferro. Foi utilizado o difratômetro Shimadzu XRD – 7000 X-“Ray Diffractometer”, existente no laboratório de caracterização do DEMAT/CEFET-MG. Os parâmetros utilizados estão indicados na tabela 4.

Tabela 4 – Principais parâmetros adotados na DRX.

Parâmetro	Especificação
Radiação	CuK α
Tensão	40,0 kV
Corrente	30,0 mA
Velocidade de varredura	2°/min
Modo de varredura	Tempo fixo
Faixa de varredura	20° a 120°
Passo de amostragem	0,02°

Fonte: Elaborado pela autora.

3.7 Metalografia

Após a NDE, os corpos de prova seccionados foram embutidos utilizando resina epóxi termo endurecível, que apresenta baixa contração e boa aderência. Em seguida ao embutimento, as amostras foram lixadas manualmente utilizando lixas 180, 220, 360, 400, 500, 600, 1200, 1500 e 2000mesh. Foi efetuado polimento com pasta diamante 1 μ m e pano metalográfico utilizando politrizes manuais até que a superfície apresentasse aspecto de espelhada. Em seguida foi efetuado o ataque químico com Nital 2%. Todo esse procedimento visou à formação das micrografias, avaliadas em microscópio óptico Fortel com sistema de aquisição de imagens Kontrol modelo M713, que permitiram as medições das espessuras das ZR e das ZAC, a medição da microdureza e também a observação das camadas em microscópio eletrônico de varredura.

3.8 Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

Os corpos de prova foram observados em um microscópio eletrônico de varredura, Hitachi TM 3000, que trabalha exclusivamente com elétrons retroespalhados. O equipamento pertence ao Departamento de Transportes do CEFET/MG.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados da avaliação dos parâmetros que medem a performance de EDM durante o processo de NDE. A formação de nitretos no aço AISI 4140 é avaliada pela variação na dureza das camadas nitretadas e identificação de picos típicos em difratogramas de raios X, e ainda o valor da espessura da ZR e da ZAC que foram medidos a partir das imagens de microscopia óptica.

4.1 Avaliação do desempenho do processo de EDM

Um parâmetro importante na avaliação de desempenho do processo de EDM é a condutividade elétrica das soluções aquosas de ureia adotadas como fluido dielétrico. A tabela 5 apresenta a condutividade elétrica das soluções aquosas utilizadas no processo de NDE. A medição da condutividade das soluções após a NDE foi efetuada após a solução ser utilizada em seis ensaios de nitretação.

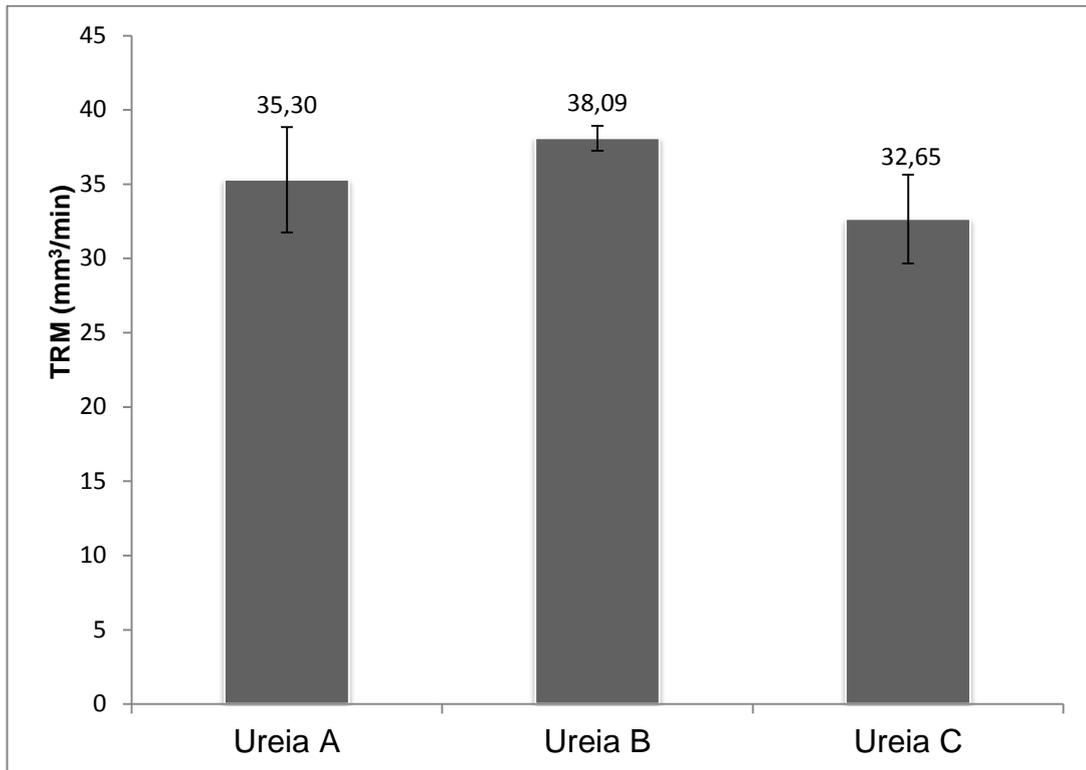
Tabela 5 – Condutividade elétrica dos fluidos dielétricos.

Solução aquosa	Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	
	Antes da NDE	Após a NDE
Ureia A	52	85
Ureia B	17	32
Ureia C	10	32

Fonte: Elaborada pela autora.

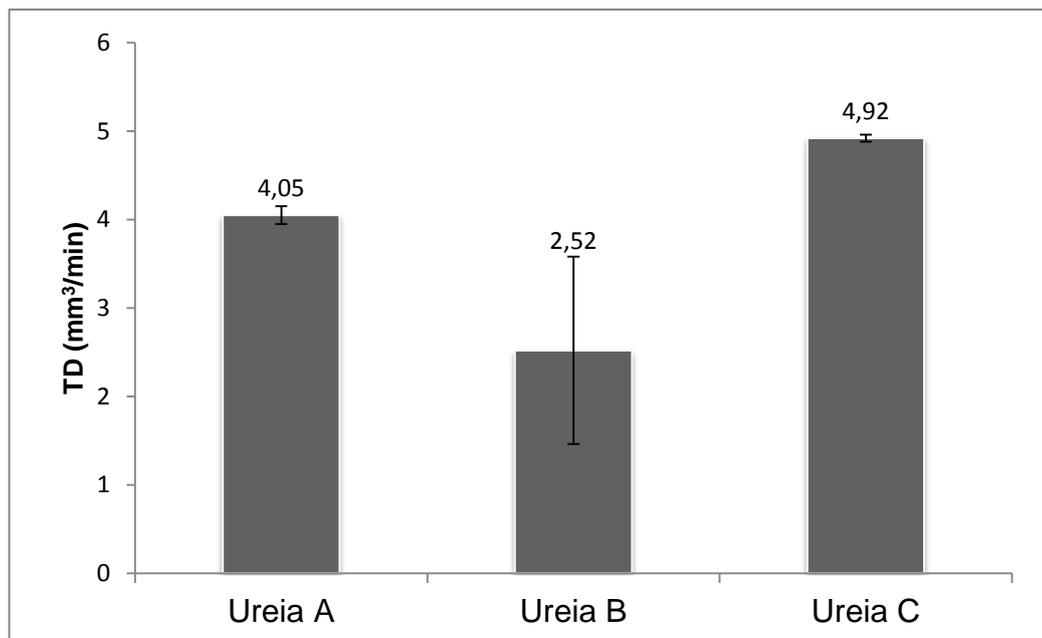
Os gráficos ilustrados nas figuras 23, 24 e 25 apresentam os parâmetros de desempenho do processo EDM para as três diferentes soluções aquosas de ureia utilizadas, com usinagem efetuada com eletrodo ferramenta de cobre.

Figura 23 - Comparação entre as TRM utilizando eletrodo ferramenta de cobre.



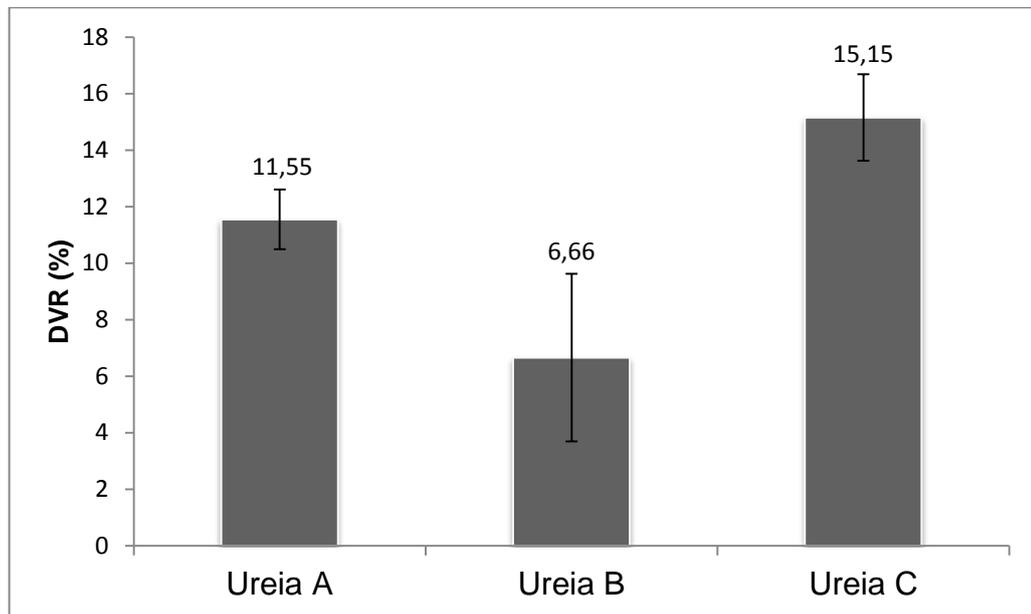
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 24 – Comparação entre as TD utilizando eletrodo ferramenta de cobre.



Fonte: Elaborado pela autora.

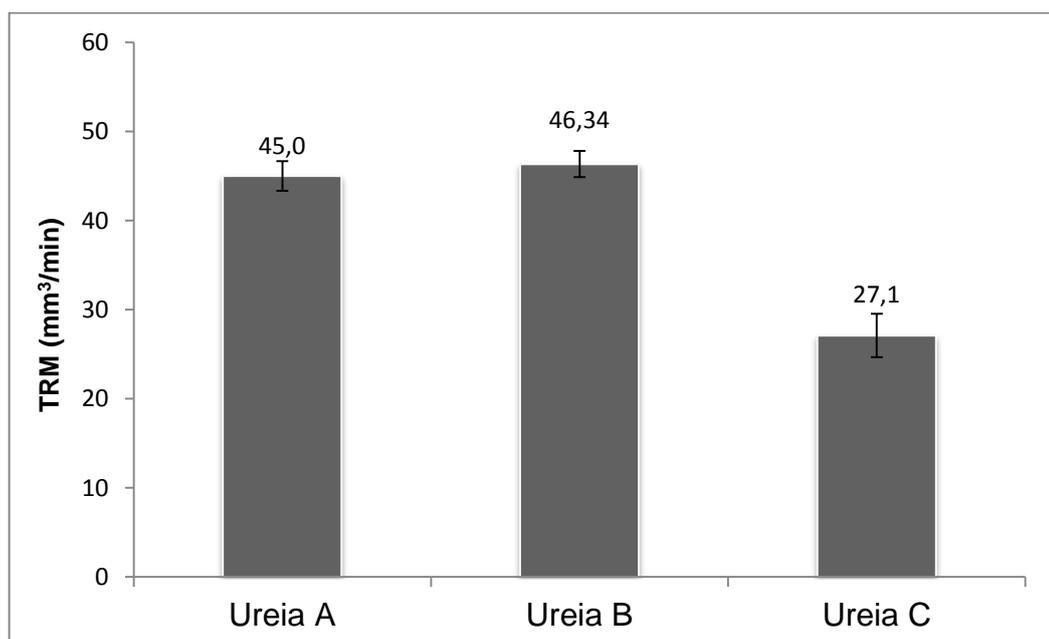
Figura 25 – Comparação entre os valores de DVR utilizando eletrodo ferramenta de cobre.



Fonte: Elaborado pela autora.

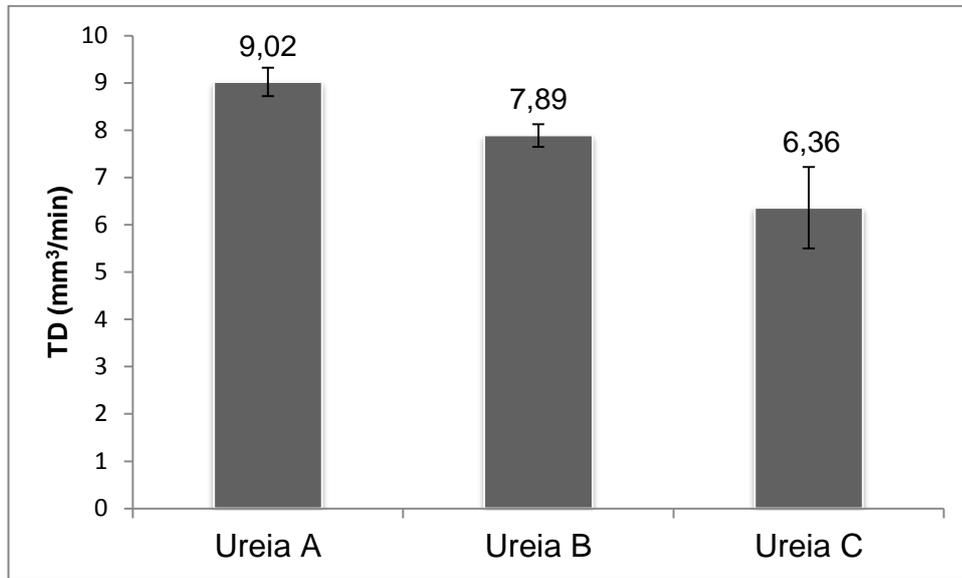
Os gráficos ilustrados nas figuras 26, 27 e 28 apresentam os parâmetros de desempenho do processo EDM para as três diferentes soluções aquosas de ureia utilizadas, com usinagem efetuada com eletrodo ferramenta de grafita.

Figura 26 - Comparação entre as TRM utilizando eletrodo ferramenta de grafita.



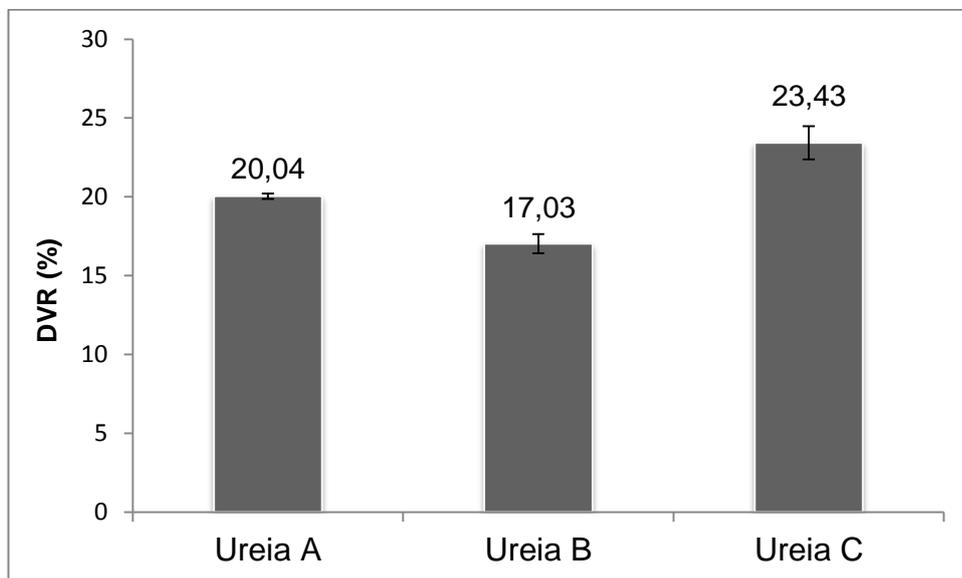
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 27 – Comparação entre as TD utilizando eletrodo ferramenta de grafita.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 28 – Comparação entre os valores de DVR utilizando eletrodo ferramenta de grafita.



Fonte: Elaborado pela autora.

A TD, que representa a taxa de desgaste do eletrodo ferramenta, manteve-se razoavelmente baixa em todos os experimentos se comparada à taxa de remoção do material (TRM). Cabendo destacar que o desgaste do eletrodo de grafita foi muito maior que o desgaste do eletrodo de cobre. O ideal seria desgaste zero, entretanto

isso não é possível porque a superfície do eletrodo ferramenta também é bombardeada pelos elétrons (SILVA, 2007).

Segundo SILVA (2007), não existe padrão definido da quantidade de material removido do eletrodo peça (TRM). Diversos parâmetros operacionais podem influenciar a TRM, destacando-se a intensidade de corrente, tamanho da fenda de trabalho, sistema de limpeza da fenda, material do eletrodo ferramenta, o que dificulta o estabelecimento de padrões para comparação. Quando se utilizou eletrodo ferramenta de cobre, a TRM foi menor se comparada à utilização de eletrodo ferramenta de grafita, exceto para a solução aquosa de ureia C.

As propriedades como condutividade elétrica, ponto de fusão e fragilidade do material do eletrodo ferramenta, exercem influência direta nos parâmetros relacionados ao desgaste e remoção de material do processo de EDM. A maior condutividade elétrica do cobre ($61,7\text{S.m/mm}^2$) e tenacidade a fratura ($100\text{MPa.m}^{1/2}$) em relação à da grafita ($0,07\text{S.m/mm}^2$ e $1\text{MPa.m}^{1/2}$) são compensadas pelo maior ponto de fusão da grafita (3550°C) em relação ao cobre (1080°C).

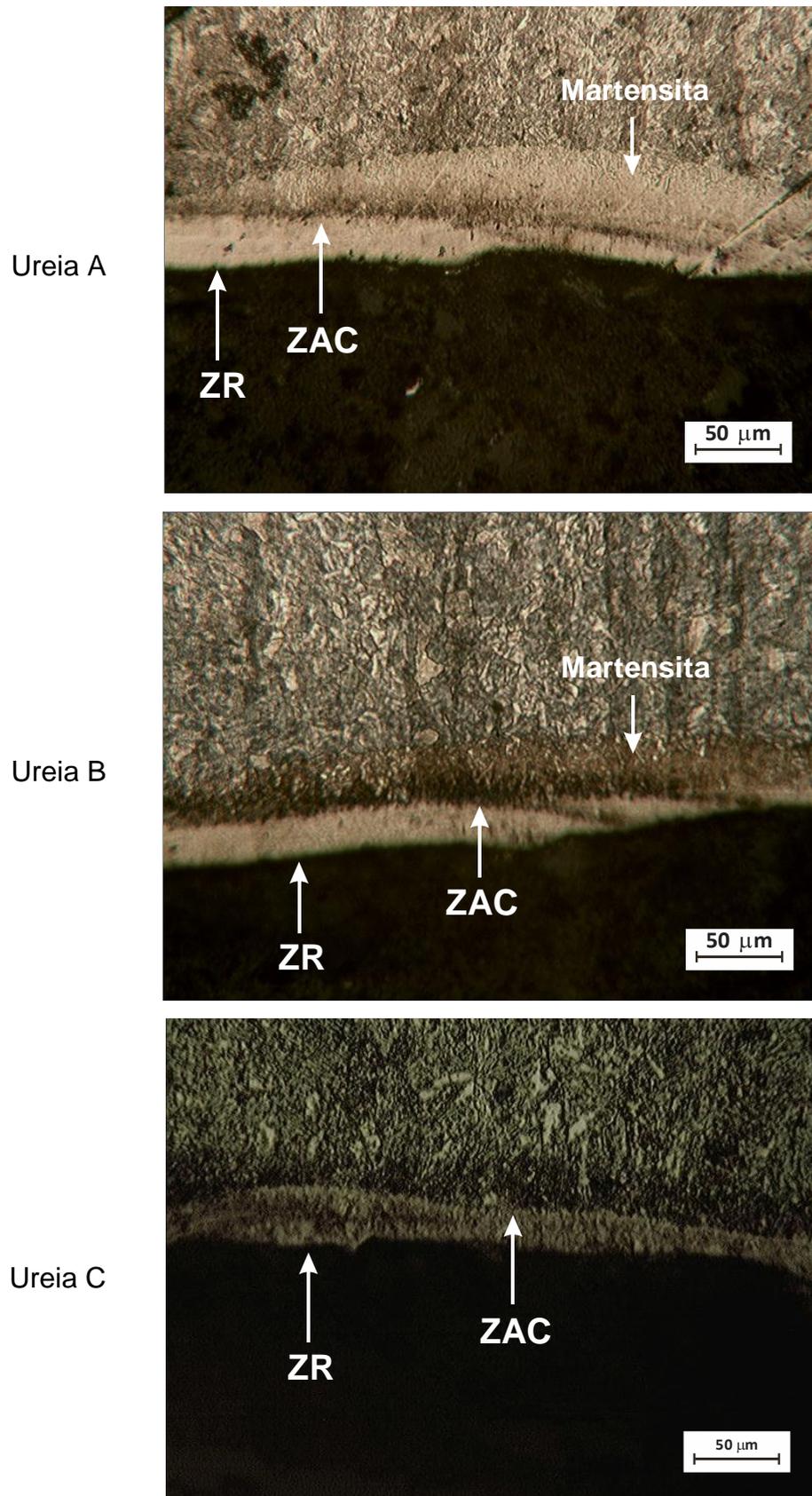
O desgaste volumétrico relativo (DVR) relaciona a taxa de desgaste do eletrodo ferramenta com a taxa de remoção de material da peça. O menor valor de DVR caracteriza melhor desempenho, pois a quantidade de material retirada da peça é maior com pouco desgaste do eletrodo ferramenta. A utilização da solução aquosa de ureia C produziu um maior DVR.

4.2 Formação das camadas nitretadas

As figuras 29 e 30, obtidas por microscopia óptica, evidenciam a formação da ZR, camada mais superficial e de coloração mais clara, e a formação da ZAC, camada mais escura, logo abaixo da ZR. A formação destas camadas foi confirmada quando se utilizou as três ureias trabalhadas: A, B e C.

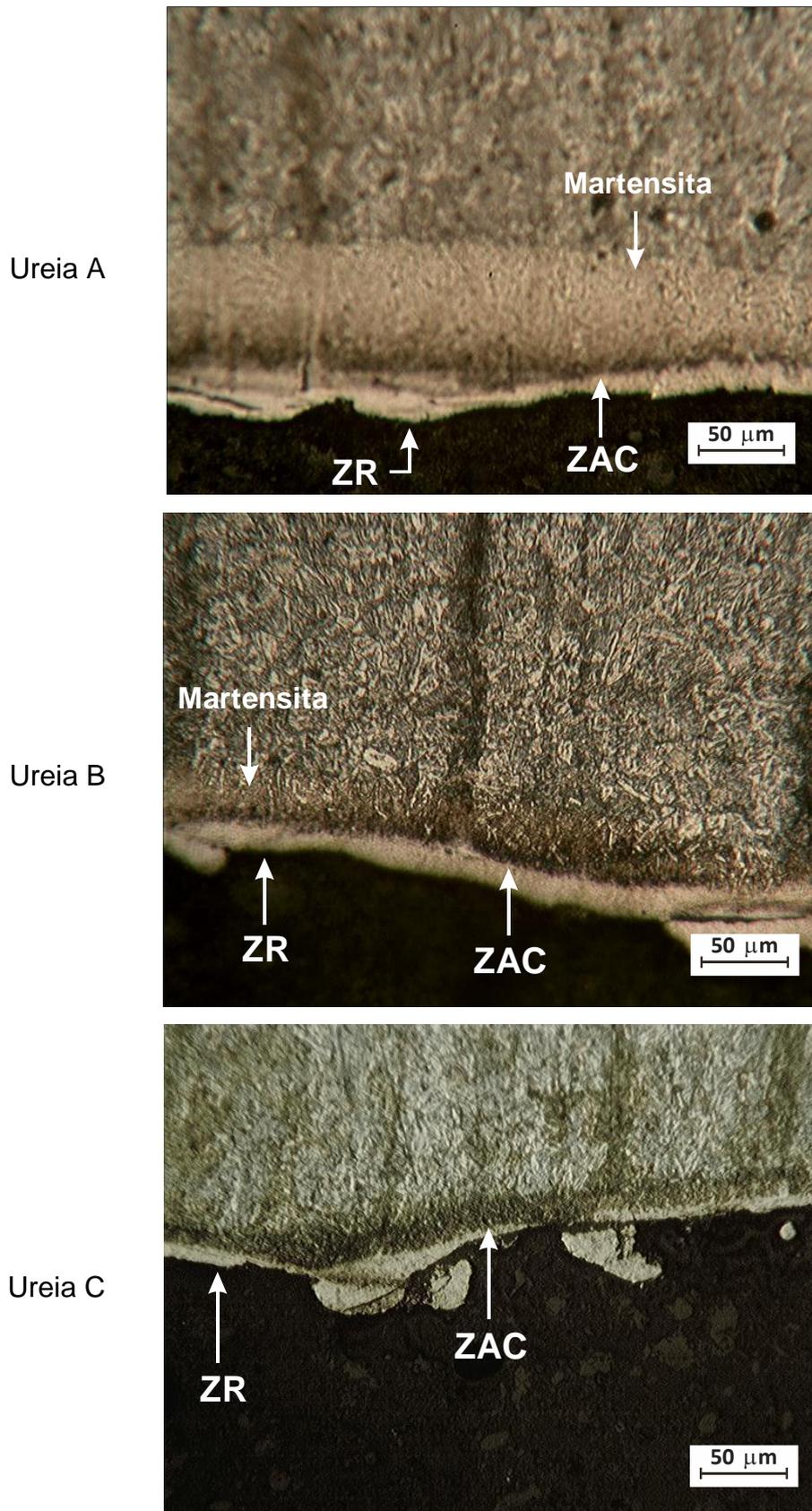
Nas imagens é possível perceber que a ZR se apresenta com bastante irregularidade e se desprendia do metal base, quando se utiliza eletrodo ferramenta de grafita. Esta mesma camada apresentou melhor uniformidade quando se utilizou eletrodo ferramenta de cobre.

Figura 29 – Formação das camadas ZR e ZAC, observada via microscopia óptica, utilizando eletrodo de cobre. Nital 2%.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 30 – Formação das camadas ZR e ZAC observada via microscopia óptica, utilizando eletrodo de grafita. Nital 2%.



Fonte: Elaborada pela autora.

Nota-se, também, a formação de martensita entre a ZAC e a matriz, conforme observado por Santos (2013).

4.3 Dureza

Os resultados de dureza Vickers (98,07mN, 20s) encontram-se indicados nas tabelas 6 e 7, a média foi obtida a partir de três medições.

Tabela 6 – Valores médios de dureza e desvios obtidos com NDE utilizando eletrodo de cobre.

Dureza (HV)			
	Ureia A	Ureia B	Ureia C
ZR	580,00 ± 38,51	609,00 ± 42,53	483,67 ± 8,96
ZAC	484,33 ± 22,48	490,67 ± 46,61	531,00 ± 10,39

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 7 – Valores médios de dureza e desvios obtidos com NDE utilizando eletrodo de grafita.

Dureza (HV)			
	Ureia A	Ureia B	Ureia C
ZR	484,67 ± 30,11	500,33 ± 77,14	716,33 ± 48,21
ZAC	394,67 ± 6,35	406,67 ± 22,9	555,00 ± 27,50

Fonte: Elaborada pela autora.

A tabela 8 apresenta o ganho percentual aproximado de dureza das camadas ZR e ZAC em relação à matriz. Tomou-se como referência o valor de 233HV para a dureza da matriz. O valor médio foi obtido a partir de seis medições de dureza.

Nota-se ganho significativo de dureza para todas as soluções aquosas utilizadas, destacando-se maior dureza para a ZAC quando se utilizou a ureia C e eletrodo de grafita.

Tabela 8 – Ganho percentual de dureza em relação à matriz.

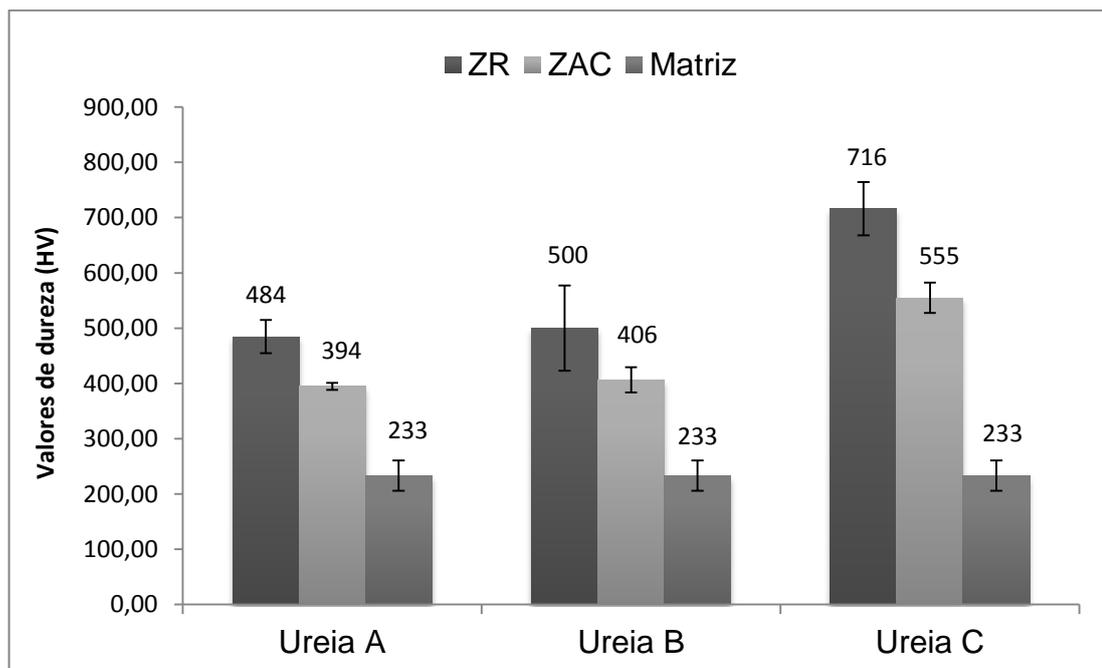
	Eletrodo ferramenta de grafita			Eletrodo ferramenta de cobre		
	Ureia A	Ureia B	Ureia C	Ureia A	Ureia B	Ureia C
ZR	107%	114%	206%	148%	160%	107%
ZAC	69%	74%	137%	107%	110%	127%

Fonte: Elaborada pela autora.

O valor de 107% encontrado para a ZR, quando se utilizou ureia C e eletrodo de cobre, apresenta-se abaixo do esperado, pois foi menor que o valor encontrado para a ZAC, nas mesmas condições de trabalho. Isso pode ser atribuído ao fato da ZR se desprender do corpo de prova à medida que ficava mais espessa, conforme as imagens apresentadas na figura 30. O aumento da dureza deve-se à formação dos nitretos de ferro e, também, ao efeito de tempera superficial.

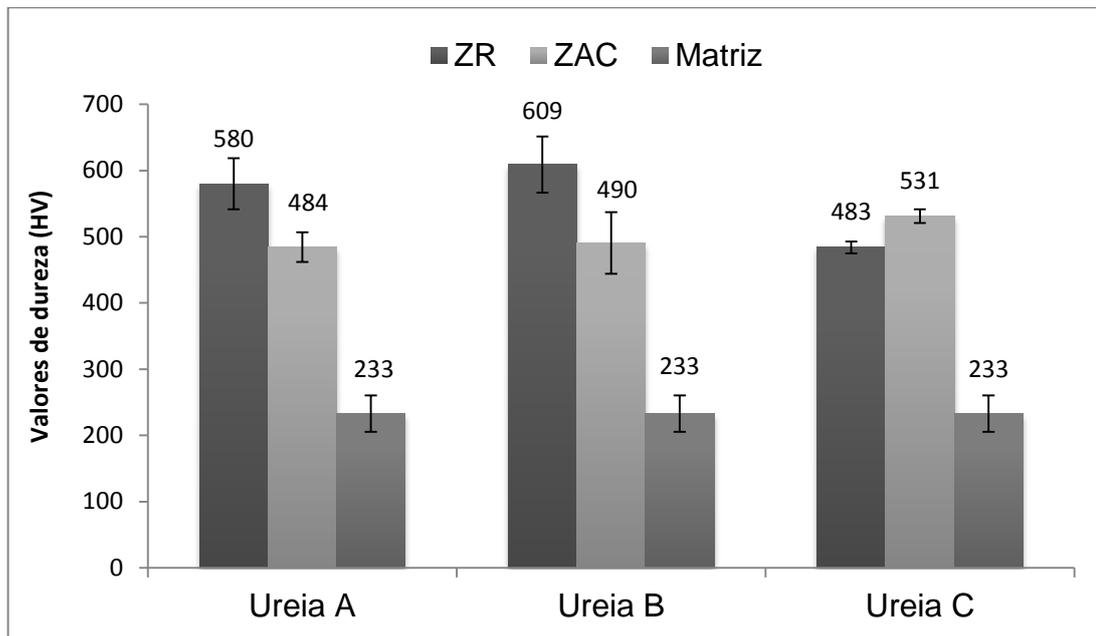
Os gráficos ilustrados nas figuras 31 e 32 comparam os valores de dureza Vickers encontrados no processo de NDE, utilizando soluções aquosas das ureias A B e C.

Figura 31 – Comparação entre os valores de dureza das camadas ZR, ZAC e matriz, NDE utilizando eletrodo ferramenta de grafita.



Fonte: Elaborado pela autora.

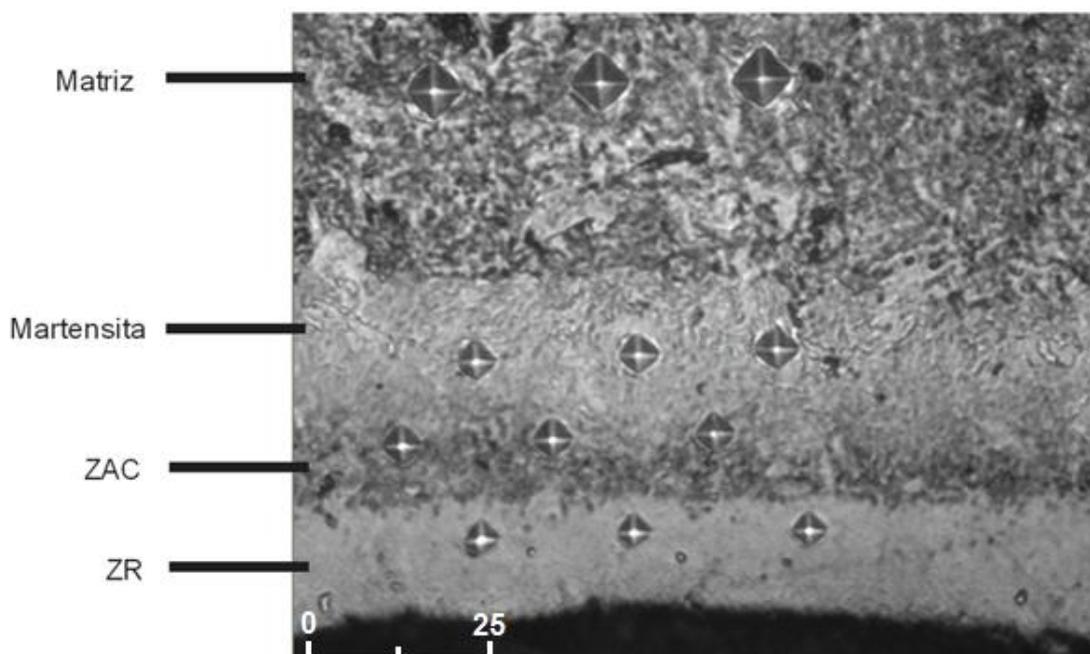
Figura 32 – Comparação entre os valores de dureza das camadas ZR, ZAC e matriz, NDE utilizando eletrodo ferramenta de cobre.



Fonte: Elaborado pela autora.

A figura 33 exibe a micrografia obtida durante medições de dureza do corpo de prova NDE utilizando solução aquosa de ureia A e eletrodo de cobre.

Figura 33 – Micrografia da amostra de aço AISI 4140 NDE, ureia A com eletrodo de cobre. Nital 2%.

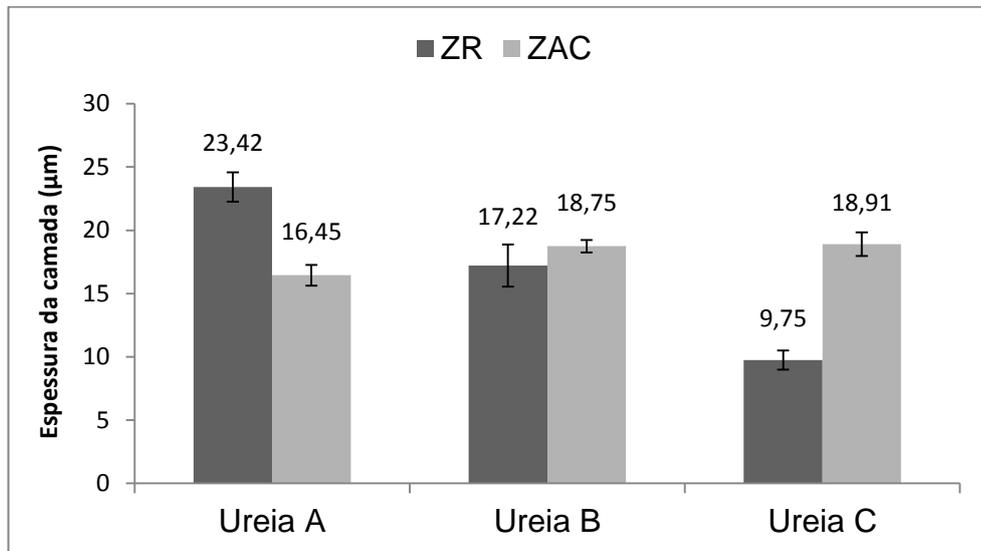


Fonte: Elaborado pela autora.

4.4 Espessura das camadas nitretadas

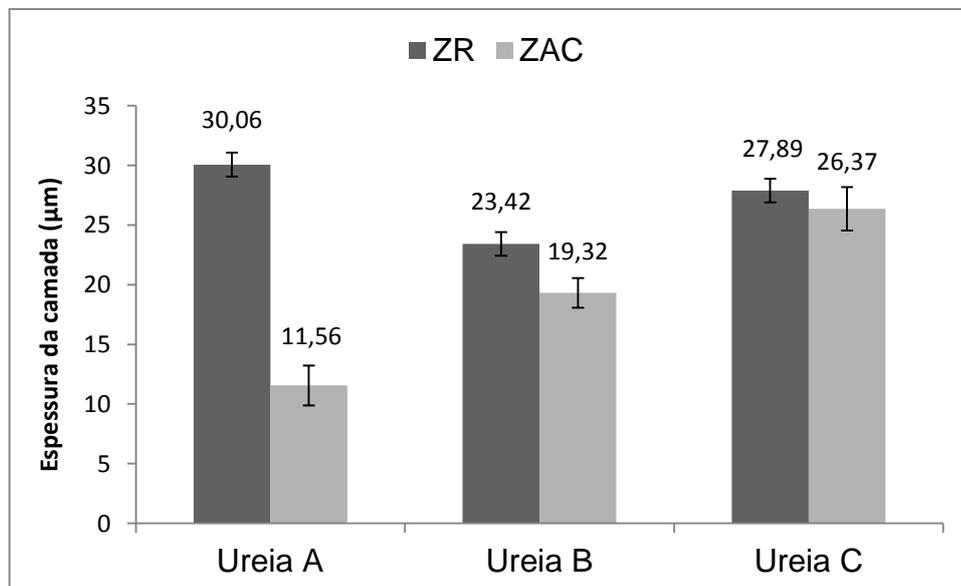
As figuras 34 e 35 ilustram gráficos que comparam as espessuras das camadas nitretadas obtidas via NDE utilizando soluções aquosas das ureias A, B e C. Os valores médios e desvios padrão foram obtidos a partir de três medidas.

Figura 34 – Comparação entre as espessuras das ZR e ZAC obtidas após NDE, utilizando eletrodo ferramenta de grafita.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 35 – Comparação entre as espessuras das ZR e ZAC obtidas após NDE, utilizando eletrodo ferramenta de cobre.



Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme indicado nas figuras, a utilização da solução aquosa da ureia C permitiu a obtenção de uma ZAC mais espessa quando se utilizou eletrodo de cobre. A espessura da ZAC obtida com a solução aquosa de ureia C foi cerca de 36% superior à do experimento com solução de ureia B e 128% ao do resultado empregando a solução de ureia A.

Com o eletrodo de grafita não se observou variação significativa na espessura da ZAC para as soluções aquosas de ureia B e C, sendo a espessura da ZAC utilizando solução aquosa de ureia C apenas 0,8% superior àquela obtida com a ureia B. Em relação à solução de ureia A, a espessura da ZAC foi cerca de 14% superior comparativamente à obtida com a solução de ureia C.

Em relação à ZR observou-se que, em geral, sua espessura é superior à espessura da ZAC. Tal fato não foi observado quando se utilizou as soluções aquosas de ureia B e C com eletrodo de grafita porque a aderência da ZR é baixa e, conforme indicado na figura 29, esta camada se desprendia do corpo de prova facilmente à medida que sua espessura aumentava.

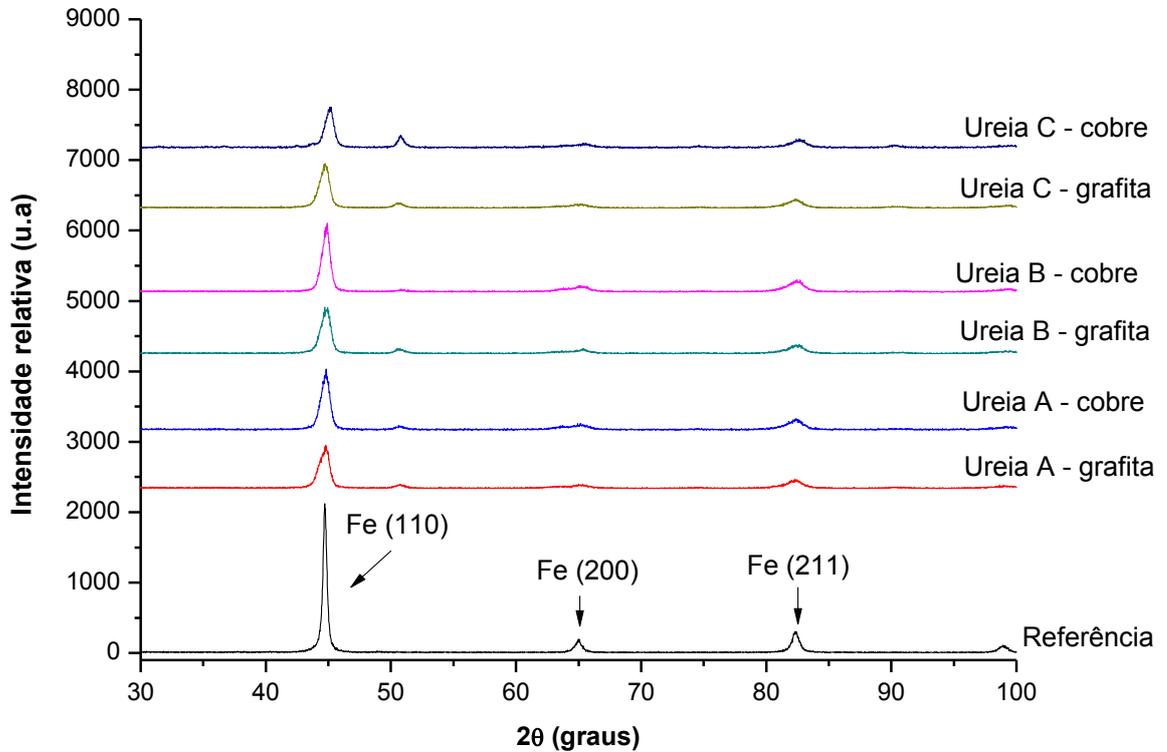
4.5 Difração de Raios X

A análise dos difratogramas permitiu identificar as fases majoritárias presentes em todas as amostras, constituídas pelo elemento ferro. A orientação cristalográfica (110), Fe- α (ccc – cúbica de corpo centrado), foi predominante, conforme ilustra a figura 36.

A pequena espessura das camadas nitretadas faz com que o volume difratado seja reduzido de tal forma que eventuais reflexões provenientes das camadas nitretadas sejam fracas (SANTOS, 2015). Com o intuito de identificar a presença de possíveis nitretos, os difratogramas foram trabalhados individualmente, porém com escala ampliada. As figuras 37 a 42 apresentam esses difratogramas com a identificação dos nitretos FeN, ϵ e γ' .

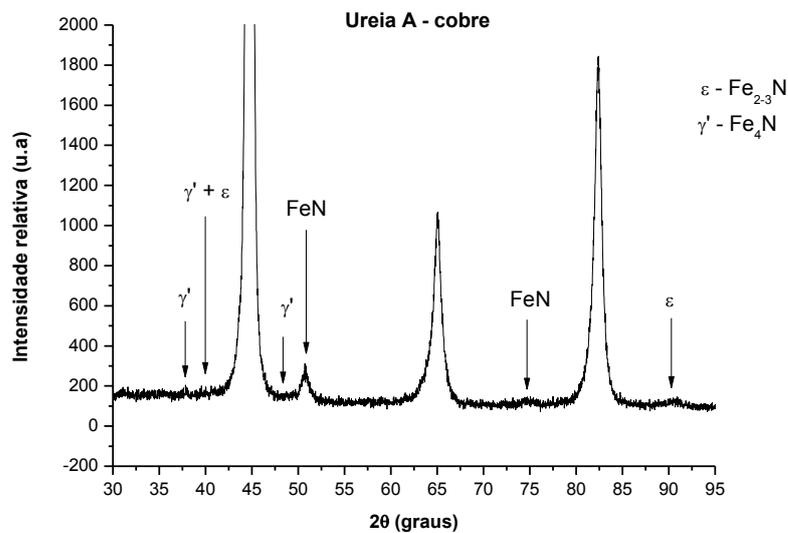
Os picos identificados nos difratogramas são compatíveis com os nitretos apontados por Stonieski et al (2013), Santos et al (2011) e Mello et al (2010).

Figura 36 – Identificação das fases majoritárias.



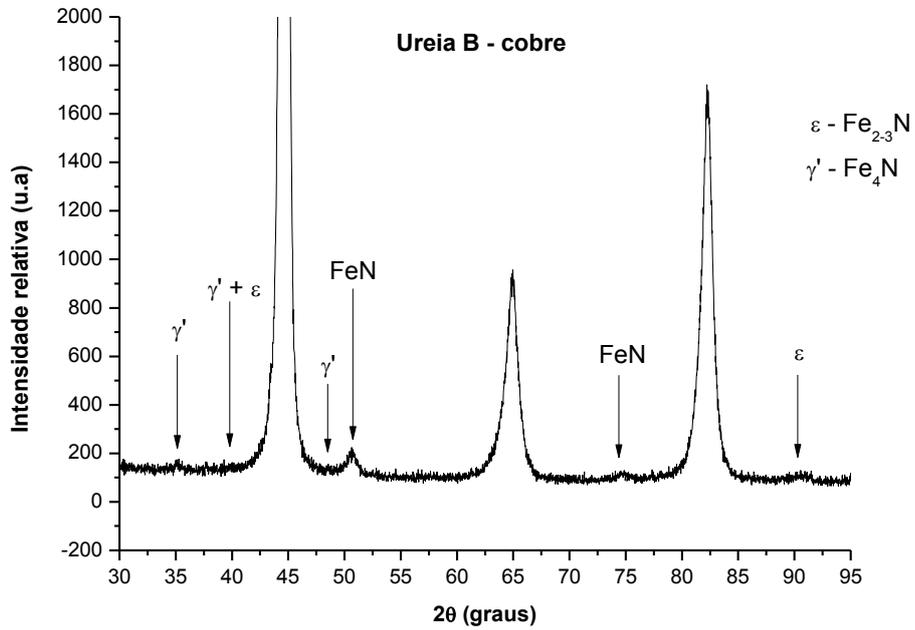
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 37 – Espectro de DRX obtido após NDE utilizando eletrodo ferramenta de cobre e solução aquosa de ureia A.



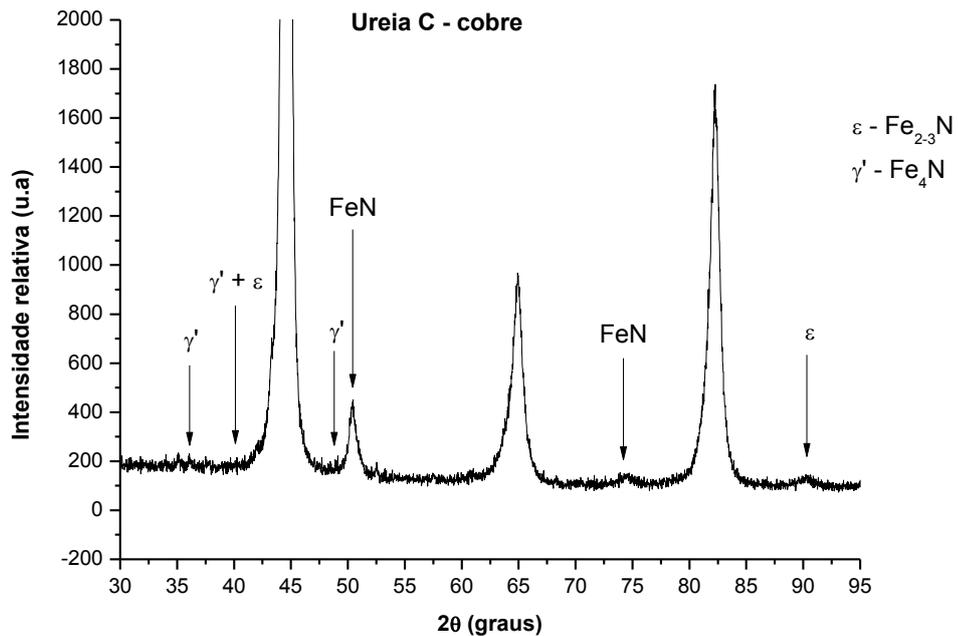
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 38 – Espectro de DRX obtido após NDE utilizando eletrodo ferramenta de cobre e solução aquosa de ureia B.



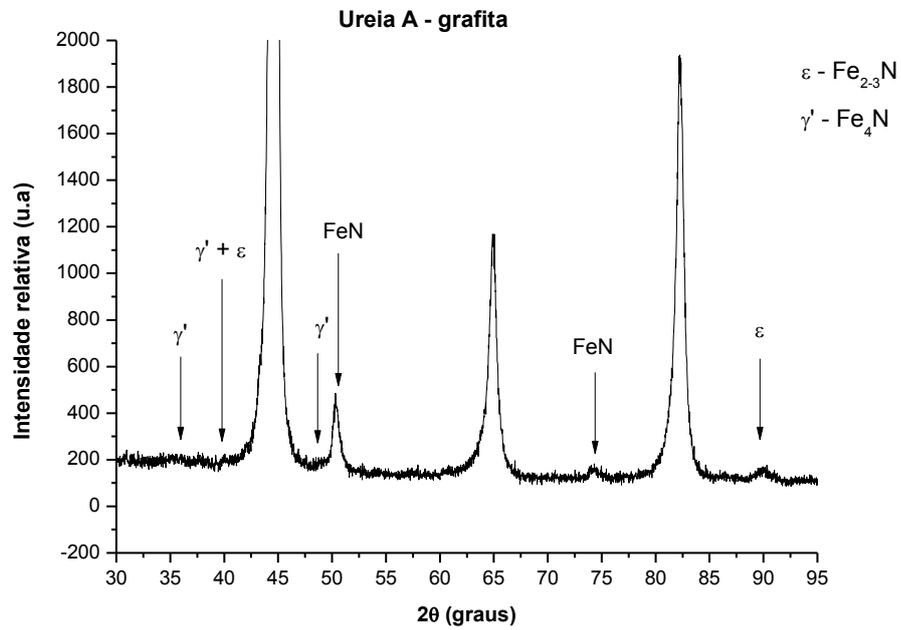
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 39 – Espectro de DRX obtido após NDE utilizando eletrodo ferramenta de cobre e solução aquosa de ureia C.



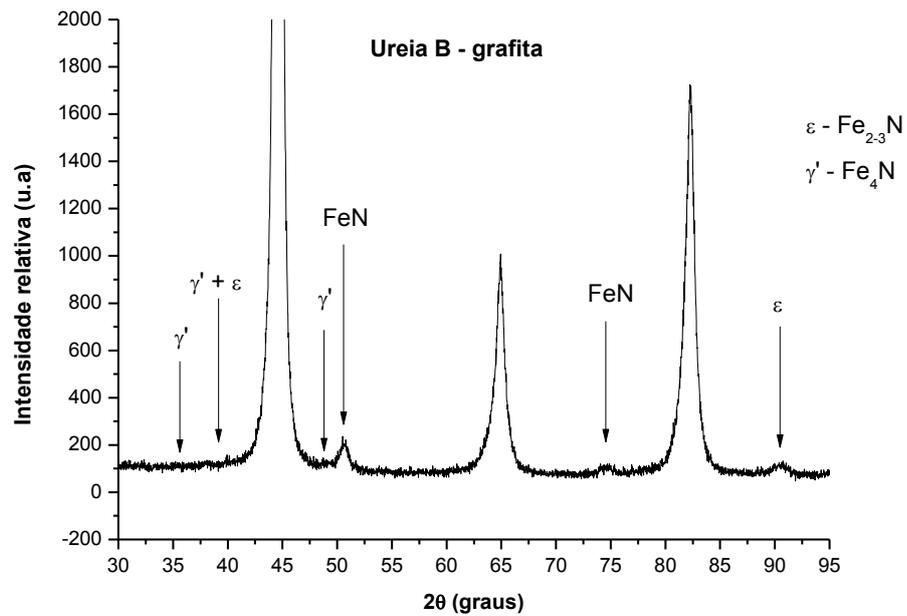
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 40 – Espectros de DRX obtidos após NDE utilizando eletrodo ferramenta de grafita e solução aquosa de ureia A.



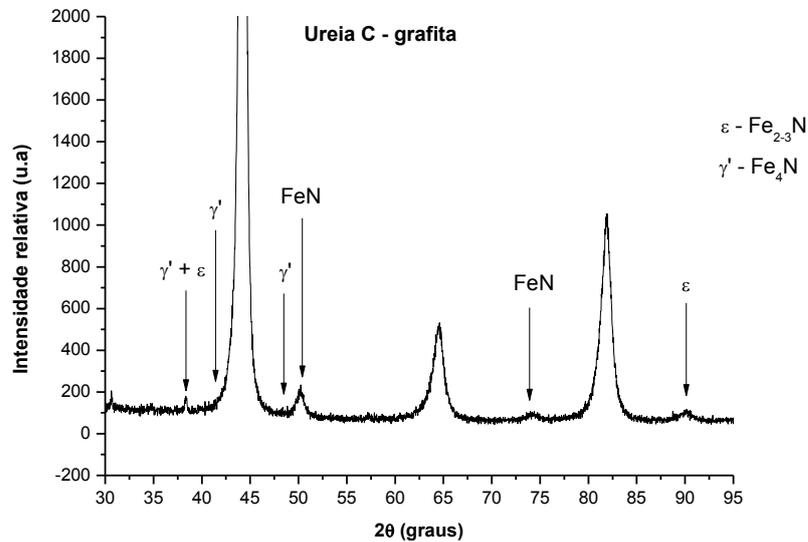
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 41 – Espectros de DRX obtidos após NDE utilizando eletrodo ferramenta de grafita e solução aquosa de ureia B.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 42 – Espectros de DRX obtidos após NDE utilizando eletrodo ferramenta de grafita e solução aquosa de ureia C.

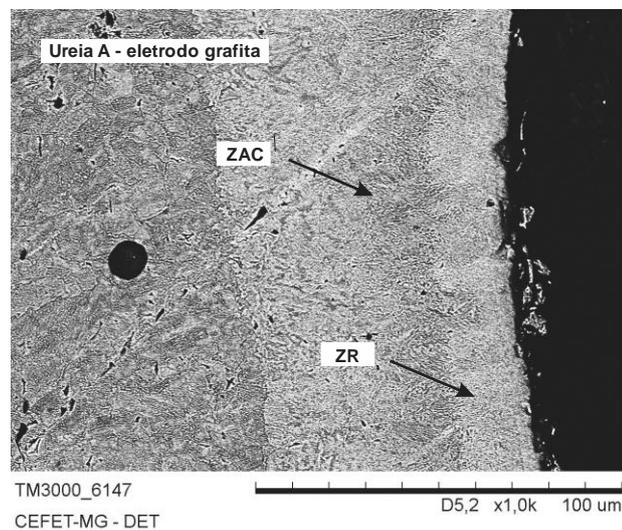


Fonte: Elaborados pela autora.

4.6 Microscopia eletrônica de varredura

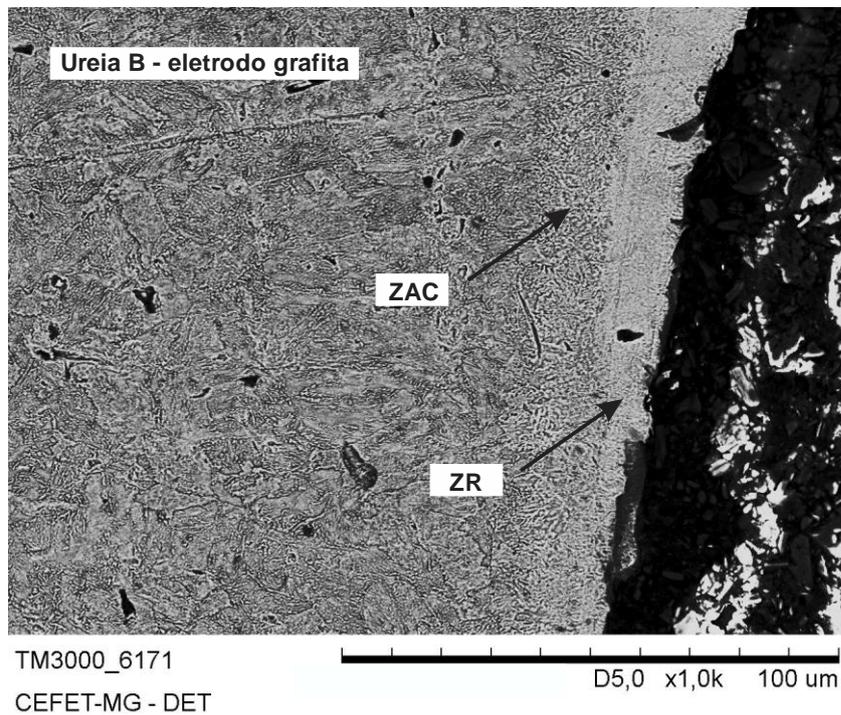
As imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura evidenciaram a formação das camadas ZR e ZAC, conforme ilustram as figura 43, 44 e 45.

Figura 43 - Formação das camadas ZR e ZAC, observada via microscopia eletrônica de varredura, utilizando ureia A e eletrodo de grafita. Nital 2%.



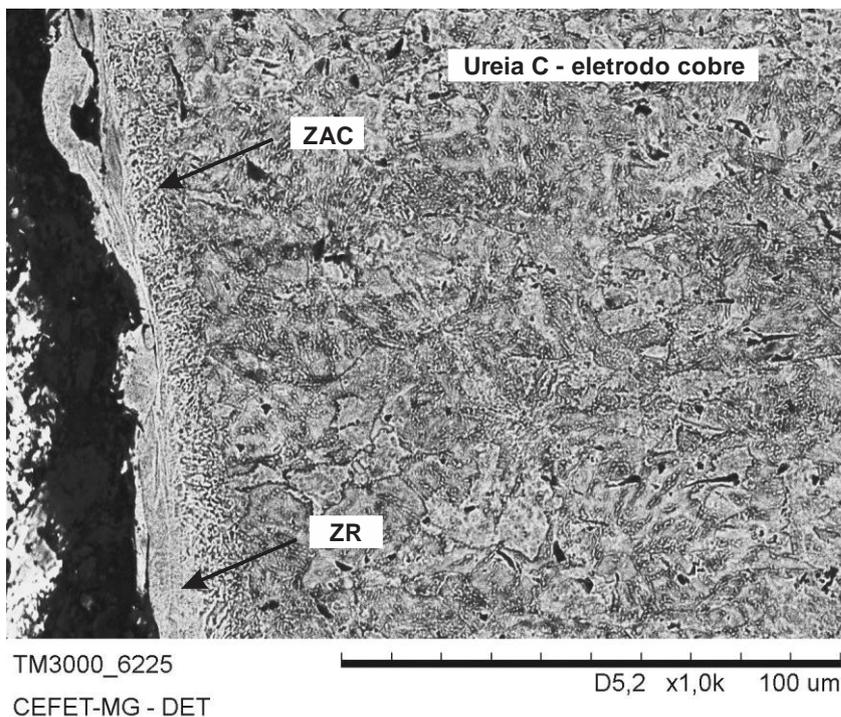
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 44 - Formação das camadas ZR e ZAC, observada via microscopia eletrônica de varredura, utilizando ureia B e eletrodo de grafita. Nital 2%.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 45 - Formação das camadas ZR e ZAC, observada via microscopia eletrônica de varredura, utilizando ureia C e eletrodo de cobre. Nital 2%.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.7 Análise química das ureias

Os materiais denominados ureias A, B e C foram submetidos à análise para determinação do teor de ureia, sendo também determinado o teor de nitrogênio total, conforme os laudos de análise presentes nos anexos D, E e F. A tabela 9 apresenta os valores obtidos nesses laudos.

Tabela 9 – Teor de ureia e nitrogênio total.

Parâmetro	Material		
	Ureia A	Ureia B	Ureia C
Nitrogênio total (g/100g)	52,61	44,03	44,85
Ureia (g/100g)	99,96	97,46	103,53

Fonte: Laboratório.

O teor de ureia apresentado é bastante elevado para os materiais analisados apesar de ligeiramente divergente dos indicados pelos fabricantes para as ureias B e C, conforme valores apresentados pelos fabricantes nos Anexos A, B e C . Entretanto, cabe destacar, que a diferença no teor de ureia entre os materiais não é superior a 7%.

5. CONCLUSÃO

A influência das diferentes categorias de ureias no processo de nitretação por descargas elétricas do aço AISI 4140 foi avaliada. Para tanto, foram utilizados 3 tipos de ureia: fertilizante, farmacológica e padrão analítico, denominadas, respectivamente, de ureia A, B e C.

As diferentes categorias de ureia utilizadas não interferiram significativamente na TRM, cabendo destacar apenas que o uso de ureia C permitiu uma ligeira queda nesta taxa se comparada àquela em que se utilizou ureia A ou B. Os valores de desgaste dos eletrodos ferramenta mantiveram-se próximos para as três categorias de ureia. O valor de DVR foi maior quando utilizou-se a ureia C com eletrodo de grafita.

Foi possível observar a formação das camadas ZR e ZAC na NDE para todas as soluções aquosas de ureia utilizadas, independente do eletrodo ferramenta utilizado. No entanto, a espessura da ZAC se apresentou superior quando foi utilizada ureia C e eletrodo ferramenta de cobre.

O nitrogênio desprendido das soluções aquosas das ureias A, B e C se implantou na superfície dos corpos de prova formando nitretos de ferro: FeN, γ' e ϵ . A formação desses nitretos foi constatada por DRX, por meio de seus picos característicos.

Todas as amostras nitretadas apresentaram ganho de dureza, independente da categoria da ureia utilizada, sendo a dureza da ZAC maior quando se utilizou a ureia C.

A utilização da ureia C apresentou algumas características ligeiramente melhores para o processo NDE, mas seu custo é muito superior ao das ureias A e B. Assim a escolha da ureia a ser utilizada em escala industrial deverá passar por análise criteriosa de custo/benefício.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar análise tribológica com as três categorias de ureia, utilizando ensaio de pino sobre disco.
- Avaliar a viabilidade da NDE utilizando outras fontes de nitrogênio, como nitrogênio líquido.
- Testar as três categorias de ureia no processo NDE em outros aços: H13, AISI 4340 e outras ligas metálicas.
- Investigar a causa do desprendimento da ZR quando se utiliza eletrodo ferramenta de grafita.
- Avaliar a rugosidade superficial dos materiais submetidos à NDE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLEYS, P.; KRUTH, J. P.; LAUWES, B.; SCHACHT, B. BALASUBRAMANIAN, V.; FROYEN, L. HUMBEECK, J. V. Surface and sub-surface quality of steel after EDM. **Advanced Engineering Materials**. n. 1-2, v. 8, p. 15-25, 2006.

CAMARGO, B. C.; ARANTES, L. J.; RASLAN, A. A. Estudo da viabilidade da nitretação de liga de titânio através do processo de usinagem por descargas elétricas. Uberlândia-MG, 2006. In: POSMEC, 16. FEMEC/UFU, **Anais...**

COSTA, P. R. R.; PILLI, R. A.; PINHEIRO, S.; VASCONCELLOS, M. L. A. A. Substâncias carboniladas e derivados. Porto Alegre: Bookman, 2003.

EL-HOFY, H., **Advanced machining processes: nontraditional and hybrid machining processes**. McGraw-Hill Companies, 2005. 253p.

FARIAS, R. F.; **Para gostar de ler a história da química**. 2 ed. Campinas: Editora Átomo, 2005. 98p.

GOODMAN L. S; GILMAN, A. G.; RALL, T. W.; MURAD, F. **As bases farmacológicas da terapêutica**. 7 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S/A, 1987. 1195p.

IGNOU – Indira Gandhi National Open University – disponível em www.ignou.ac.in/upload/modern.pdf. Acesso em 16 de março de 2016.

KUMAR, S.; SINGH, R. SINGH, T. P.; SETHI, B. L. Surface modification by electrical discharge machining: a review. **Journal of Material Processing Technology**, n. 209, p. 3675-3687, 2009.

LARBI, A. B. C.; CHERIF, A.; TARRES, M. A., Improvement of the adhesive wear resistance of steel by nitriding quantified by the energy dissipated in friction, **Wear**, n. 258, p. 712-718, 2005.

MELLO, J. D. B.; BINDER, C.; BINDER, R.; KLEIN, A. N. Effect of nature of nitride phases on microabrasion of plasma nitrided sintered iron. **Tribology**, n. 4, v. 4, p. 191-196, 2010.

RASLAN, A. A.; SANTOS, R. F.; SILVA, E. R. FAPEMIG, Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais; UFU, Universidade Federal de Uberlândia (MG). **Método de nitretação através da usinagem com descargas elétricas** – NDE. BR 10 2012 030523-2, 30 Nov. 2012.

RASLAN, A. A. Implantação iônica em meio aquoso por EDM: resistência ao desgaste de aço AISI 4140. Salvador-BA, 2015. In: COBEF, 8. **Anais...**

SANTOS, C. E. **Influência da corrente elétrica no processo de nitretação por descargas elétricas do aço AISI H13**. 2015. 97f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia de Materiais) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SANTOS, R. F. **Nitretação por EDM do aço AISI 4140**. 2013. 109f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

SANTOS, R. F.; SILVA, E. R.; PEREIRA, G. C. S.; GOUVEIA, V. J. P.; COSTA, H. L.; RASLAN, A. A. Nitriding process of SAE 4140 steel using FJEDM. Natal-RN, 2011. In: Brazilian Congress of Mechanical Engineering, 21. **Anais...**

SHREVE, R. N.; BRINK JR., J. A. **Indústria de processos químicos**. 4 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 717 p.

SILVA, E. R. **Comparação do desempenho do fluido dielétrico vegetal com mineral sintético e querosene na eletroerosão do aço AISI H13**. 2007. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SILVA, S. P. **Avaliação da resistência à fadiga axial do aço ABNT 4140 nitretado por descargas elétricas**. 2016. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SOMMER – disponível em <http://www.reliableedm.com/Complete%20EDMHandbook/Complete%20EDM%20Handbook> 12.pdf, Acesso em 02 de fevereiro de 2017.

STONIESKI, A. F. O.; SANTOS, G. R.; HIRSCH, T. K.; ROCHA, A. S. Metallurgical response of an AISI 4140 steel to different plasma nitriding gas mixtures. **Materials Research**, n.164, v. 4, p. 884-890, 2013.

The Merck Index: an encyclopedia of chemicals, drugs and biologicals. 20 ed. Whitehouse Station: MERCK & CO., Inc., 1996.

VIDAL, P. H.; PORTO, P. A.; Algumas contribuições do episódio histórico da síntese artificial da ureia para o ensino de química. **História da Ciência e Ensino – Construindo Interfaces**. Revistas eletrônicas da PUC-SP, 2011.

YAN, B. H.; TSAI, H. C.; HUANG, F. Y. The effect in EDM of a dielectric of a urea solution in water on modifying the surface of titanium. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, n.45, p. 194-200, Set. 2005.

ZAMBON, M. F.; CASTELETTI, L. C.; FERNANDES, F. A. P.; NASCENTE, P. A. P. Influência da temperatura na nitretação iônica dos aços DIN16MnCr5, AISI-420 e SAE-4140. **Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo**, v.29, n.2, p. 77-80, 2010.

ZAGONEL, L. F., **Tratamentos de superfícies de uma liga ferrosa por íons de nitrogênio**. 2006. 104 f. Tese de doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

ANEXO A

Ficha de informações sobre a ureia C fornecida pelo fabricante. **Custo: R\$34,00/kg.**



FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS

Nome do Produto: URÉIA
 Página: 1/4
 Data da última revisão: 10/11/2015

1- Identificação do produto e da empresa

- Nome do produto: URÉIA
- Código interno de identificação do produto: U1001
- Principais usos recomendados para a substância: Análises químicas
- Nome da empresa: Labsynth Produtos para Laboratórios Ltda
- Endereço: Av. Dr. Ulysses Guimarães, 3.857 – Vila Mary – Diadema - SP
- Telefone para contato: (11) 4072-6100
- Telefone para emergências: (11) 4072-6100
- Fax: (11) 4072-6122
- E-mail: synth@synth.com.br

2- Identificação de perigos

- 2.1 - Classificação da substância:** Esta substância não é classificada como perigosa de acordo com a legislação
- 2.2 - Elementos de rotulagem:** Produto químico não classificado como perigoso de acordo com a ABNT NBR 14725-2
- 2.3 - Outros Perigos que não resultam em uma classificação:** Não disponível

3- Composição e informações sobre os ingredientes**3.1 - Substância:**

- Nome químico ou comum: Uréia
- Sinônimo: Não disponível
- Número de registro CAS: 57-13-6
- Impurezas que contribuam para o perigo: Não disponível

4- Medidas de primeiros-socorros**4.1 - Medidas de primeiros-socorros:**

- Inalação: Remover para local ventilado.
- Contato com a pele: Lavar com água corrente.
- Contato com os olhos: Lavar com água corrente, por 15 min.. Se necessário, procurar um oftalmologista
- Ingestão: Beber bastante água. Procurar auxílio médico, se necessário.

4.2 - Sintomas e efeitos mais importantes: Pode causar irritação nos olhos.

4.3 - Notas para o médico: Tratamento sintomático. Não há antídoto específico. Direcionar o tratamento de acordo com os sintomas e condições clínicas do paciente.

5- Medidas de combate a incêndio

- 5.1 - Meios de extinção:** Não combustível
- 5.2 - Perigos específicos da substância:** Não disponível
- 5.3 - Medidas de proteção da equipe de combate a incêndio:** Não disponível



FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS

Nome do Produto: URÉIA
 Página: 2/4
 Data da última revisão: 10/11/2015

6- Medidas de controle para derramamento ou vazamento

- 6.1 - Precauções pessoais, equipamento de proteção e procedimentos de emergência
- 6.1.1 - Para o pessoal que não faz parte dos serviços de emergência: Evitar o contato com o produto. Não inalar.
- 6.1.2 - Para o pessoal do serviço de emergência: Utilizar equipamento de proteção individual e equipamento de proteção respiratória
- 6.2 - Precaução ao meio ambiente: Não enviar o produto para redes de águas residuais
- 6.3 - Métodos e materiais para a contenção e limpeza: Absorver em estado seco. Recolher o resíduo para eliminação posterior

7- Manuseio e armazenamento

- 7.1 - Precauções para o manuseio seguro: Manipular o produto respeitando as regras gerais de segurança
- 7.2 - Condições de armazenamento seguro, incluindo qualquer incompatibilidade: Manter as embalagens bem fechadas, local seco e limpo. Temperatura ambiente

8- Controle de exposição e proteção individual

- 8.1 - Parâmetros de controle: Não disponível
- 8.2 - Medidas de controle de engenharia: Manipular o produto em local com boa ventilação natural ou mecânica, de forma a manter a concentração de vapores/poeiras inferior ao limite de tolerância
- 8.3 - Medidas de proteção pessoal:
- Proteção dos olhos/face: Óculos de segurança
 - Proteção da pele: Luvas de proteção
 - Proteção respiratória: Máscara
 - Perigos térmicos: Não disponível

9- Propriedades físico-químicas

- Aspecto: Sólido, micro pérola, branca
- Odor: próprio
- pH (20°C): 9,5
- Ponto de fusão: 132,5 – 134,5°C
- Ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição: Não disponível
- Ponto de fulgor: Não disponível
- Taxa de evaporação: Não disponível
- Inflamabilidade: Não disponível
- Limite inferior/superior de inflamabilidade ou explosividade: Não disponível
- Pressão de vapor: Não disponível
- Densidade de vapor: Não disponível
- Densidade: Não disponível
- Solubilidade: em água: solúvel
- Coeficiente de partição – n-octano/água: Não disponível



FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS

Nome do Produto: URÉIA
 Página: 3/4
 Data da última revisão: 10/11/2015

- Temperatura de auto-ignição: Não disponível
- Temperatura de decomposição: > 132°C
- Viscosidade: Não disponível

10- Estabilidade e reatividade

- 10.1 - Estabilidade química: Estável
- 10.2 - Reatividade: Não disponível
- 10.3 - Possibilidade de reações perigosas: Não disponível
- 10.4 - Condições a serem evitadas: Não disponível
- 10.5 - Materiais incompatíveis: Causa reações exotérmicas com nitritos em temperatura ambiente. Reage com hipocloritos para formar tricloreto de nitrogênio, o qual explode espontaneamente em contato com o ar
- 10.6 - Produtos perigosos da decomposição: Não disponível

11- Informações toxicológicas

- Toxicidade aguda: LD50 (oral,ratos): 8471 mg/kg
- Corrosão / irritação da pele: Não disponível
- Lesões oculares graves / irritação ocular: Não disponível
- Sensibilização respiratória ou à pele: Não disponível
- Mutagenicidade em células germinativas: Não disponível
- Carcinogenicidade: Não disponível
- Toxicidade à reprodução: Não disponível
- Toxicidade para órgãos - alvo específico – exposição única: Não disponível
- Toxicidade para órgãos - alvo específico – exposição repetida: Não disponível
- Perigo por aspiração: Não disponível

12- Informações ecológicas

- 12.1 - Ecotoxicidade: Efeitos biológicos: Toxicidade nos peixes: L.idus LC50: > 6810 mg / l / 96 h
- 12.2 - Persistência e degradabilidade: Facilmente eliminável
- 12.3 - Potencial bioacumulativo: Não se prevê qualquer bio acumulação
- 12.4 - Mobilidade no solo: Não disponível
- 12.5 - Outros efeitos adversos: Não disponível

13- Considerações sobre tratamento e disposição

- 13.1 - Métodos recomendados para destinação final:
 - Produto: Seguir as normas locais do controle do meio ambiente ou incinerar
 - Restos de produtos: Recolher e armazenar adequadamente o produto derramado para posterior reutilização ou incineração



FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS

Nome do Produto: URÉIA
 Página: 4/4
 Data da última revisão: 10/11/2015

- Embalagem usada: Devem ser eliminadas de acordo com as normas locais do controle do meio ambiente ou incinerar.

14- Informações sobre transporte

14.1 - Regulamentações nacionais e internacionais:

Este produto não está classificado como perigoso de acordo com a resolução ANTT nº 420 de 12 fevereiro de 2004

15- Informações sobre regulamentações

15.1 - Regulamentações específicas de segurança, saúde e meio ambiente para o produto químico:

Produto químico não classificado como perigoso de acordo com a ABNT NBR 14725-2

16- Outras informações

Merck Index, 12ª ed., N° 10005

Os dados aqui contidos, são fornecidos com boa fé e a título orientativo, baseados em literaturas correntes e conceituadas (referidas no informativo, sempre que possível ou quando solicitadas). Apesar de serem dignas de confiança, não podemos nos responsabilizar pela sua exatidão. Recomendamos, sejam feitas as devidas avaliações pelo usuário.

ANEXO B

Ficha de informações sobre a ureia A fornecida pelo fabricante. **Custo: R\$3,00/kg.**



Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: UREIA FERTILIZANTE	Página 1 de 11
Data: 22/06/2015	Nº FISPQ: BR614
Versão: 3	Anula e substitui versão: todas anteriores

1 - IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA

Nome do produto:	UREIA FERTILIZANTE
Código interno de identificação:	BR614
Principais usos recomendados para a substância ou mistura:	Uso em fertilizantes.
Nome da empresa:	PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A.
Endereço:	Rua Correa Vasques, 250 20211-140 - Cidade Nova - Rio de Janeiro (RJ).
Telefone:	0800 728 9001
Telefone para emergências:	08000 24 44 33

2 - IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

- Classificação de perigo do produto:	Corrosão/irritação à pele – Categoria 2 Lesões oculares graves / irritação ocular - Categoria 2A
- Sistema de classificação utilizado:	Norma ABNT-NBR 14725-2:2009 – versão corrigida 2:2010. Sistema Globalmente Harmonizado para a Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos, ONU.
Outros perigos que não resultam em classificação:	Não apresenta outros perigos.

ELEMENTOS APROPRIADOS DA ROTULAGEM

- Pictogramas:



- Palavra de advertência:	ATENÇÃO.
- Frases de perigo:	H315 - Provoca irritação à pele. H319 - Provoca irritação ocular grave.
- Frases de precaução:	
- Prevenção:	P264 - Lave as mãos cuidadosamente após o manuseio. P280 – Use luvas de proteção, roupa de proteção, proteção ocular e proteção facial.



Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: **UREIA FERTILIZANTE**

Página 2 de 11

Data: 22/06/2015

Nº FISPQ: BR614

Versão: 3

Anula e substitui versão: todas anteriores

- Resposta à emergência:
- P302 + P352 - EM CASO DE CONTATO COM A PELE: Lave com água e sabão em abundância.
- P305 + P351 + P338 – EM CASO DE CONTATO COM OS OLHOS: Enxágue cuidadosamente com água corrente durante vários minutos. No caso de uso de lentes de contato, remova-as, se for fácil. Continue enxaguando.
- P332 + P313 – Em caso de irritação cutânea: Consulte um médico.
- P337 + P313 - Caso a irritação ocular persista: Consulte um médico.
- P362 + P364 – Retire imediatamente toda a roupa contaminada e lave-as antes de usá-la novamente.
- Armazenamento: Não exigidas.
- Disposição: Não exigidas.

3 - COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÃO SOBRE OS INGREDIENTES

ESTE PRODUTO É UMA SUBSTÂNCIA

Nome químico ou comum: Ureia.

Sinônimo: Carbamida.

Número de Registro CAS: 57-13-6

Impurezas que contribuem para o perigo:

Ingredientes	Concentração	CAS
Amônia	200 ppm	7664-41-7
Biureto	1,5% (máx.)	108-19-0
Formol	-	50-00-0
Sulfato de Amônio	Traços	7783-20-2

4 - MEDIDAS DE PRIMEIROS SOCORROS

Inalação: Remova a vítima para local arejado e mantenha-a em repouso numa posição que não dificulte a respiração. Monitore a função respiratória. Se a vítima estiver respirando com dificuldade, forneça oxigênio a uma vazão de 10 a 15 litros/minuto. Se necessário aplique respiração artificial. Procure atenção médica. Leve esta FISPQ.



Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: **UREIA FERTILIZANTE**

Página 3 de 11

Data: 22/06/2015

Nº FISPQ: BR614

Versão: 3

Anula e substitui versão: todas anteriores

Contato com a pele:	Remova as roupas e sapatos contaminados. Lave a pele exposta com grande quantidade de água, por pelo menos 15 minutos. Procure atenção médica. Leve esta FISPQ.
Contato com os olhos:	Lave com água corrente em abundância, mantendo as pálpebras abertas. Retire lentes de contato quando for o caso. Se houver sintomas de irritação, procure atenção médica imediatamente. Leve esta FISPQ.
Ingestão:	Lave a boca da vítima com água em abundância. NÃO INDUZA O VÔMITO. Procure atenção médica. Leve esta FISPQ.
Sintomas e efeitos mais importantes, agudos ou tardios:	Dor de cabeça, náusea, vômito e desorientação. Vermelhidão, e dor nos olhos e na pele. Tosse e ressecamento na garganta.
Notas para médico:	Evite contato com o produto ao socorrer a vítima. Mantenha a vítima em repouso e aquecida. Não forneça nada pela boca a uma pessoa inconsciente. O tratamento sintomático deve compreender, sobretudo, medidas de suporte como correção de distúrbios hidroeletrólíticos, metabólicos, além de assistência respiratória.

5 - MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO

Meios de extinção:	Apropriados: Pó químico, espuma resistente ao álcool, dióxido de carbono (CO ₂) e neblina de água. Não recomendados: Jatos d'água diretamente.
Perigos específicos da mistura ou substância:	Em combustão pode liberar vapores irritantes e tóxicos.
Medidas de proteção da equipe de combate a incêndio:	Equipamento de proteção respiratória do tipo autônomo (SCBA) com pressão positiva e vestuário protetor completo. Contêineres e tanques envolvidos no incêndio devem ser resfriados com neblina d'água.

6 - MEDIDAS DE CONTROLE PARA DERRAMAMENTO OU VAZAMENTO

Precauções pessoais

Para o pessoal que não faz parte dos serviços de emergência:	Isole preventivamente de fontes de ignição. Não fume. Não toque nos recipientes danificados ou no material derramado sem o uso de vestimentas adequadas. Evite inalação, contato com os olhos e com a pele. Utilize equipamento de proteção individual conforme descrito na seção 8. Evacuar a área próxima ao derramamento/vazamento.
---	--



Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: UREIA FERTILIZANTE	Página 4 de 11
Data: 22/06/2015	Nº FISPQ: BR614
Versão: 3	Anula e substitui versão: todas anteriores

Para o pessoal do serviço de emergência:	Utilizar EPI completo, com óculos de segurança com proteção lateral, luvas de proteção de cano longo de borracha natural ou nitrílica, vestuário protetor adequado. Em caso de grandes vazamentos, onde a exposição é grande, recomenda-se o uso de respirador do tipo autônomo (SCBA) com suprimento de ar, de peça facial inteira, operado em modo de pressão positiva.
Precauções ao meio ambiente:	Evite que o produto derramado atinja cursos d'água e rede de esgotos. Não descarte diretamente no meio ambiente ou na rede de esgoto. A água de diluição proveniente do combate ao fogo pode causar poluição.
Métodos e materiais para contenção e limpeza:	Recolher o produto em recipiente adequado e removê-lo para um local seguro.
Diferenças na ação de grandes e pequenos vazamentos:	Não há distinção entre as ações de grandes e pequenos vazamentos para este produto.

7 - MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

MEDIDAS TÉCNICAS APROPRIADAS PARA O MANUSEIO

Precauções para manuseio seguro:	Manuseie o produto somente em locais bem arejados ou com sistemas de ventilação geral/local adequado. Evite formação de poeiras e do produto. Evite inalação e o contato com a pele, olhos e roupas. Evite respirar poeiras do produto. Utilize equipamento de proteção individual ao manusear o produto, descritos na seção 8. Manipular respeitando as regras gerais de segurança e higiene industrial. Caso tenha dúvidas ou queixas quanto ao manuseio do produto ligue para nossa Assessoria de Saúde, Segurança e Meio Ambiente, telefone (79) 3280-6286/6553 e (71) 3642-4642/4032 ou para nossa Gerência Departamento Comercial, telefone (79) 3280-6506/6154 e (71) 3642-4260.
Medidas de higiene:	Não coma, beba ou fume durante o manuseio do produto. Lave bem as mãos antes de comer, beber, fumar ou ir ao banheiro. Roupas contaminadas devem ser trocadas e lavadas antes de sua reutilização.
Condições para armazenamento seguro, incluindo qualquer incompatibilidade	
Prevenção de incêndio e explosão:	Não é esperado que o produto apresente perigo de incêndio ou explosão.
Condições apropriadas:	Armazenar em sacos plásticos de polipropileno ou outras embalagens herméticas. Em temperatura ambiente, em local seco e sob pressão atmosférica. A ureia GRANEL deve ser armazenada em



Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: **UREIA FERTILIZANTE**

Página 5 de 11

Data: 22/06/2015

Nº FISPQ: BR614

Versão: 3

Anula e substitui versão: todas anteriores

lugar seco, sem umidade e protegido de chuvas, mantendo-se inclusive em local coberto sem o risco de contaminação ou de alteração das suas propriedades físico-químicas

Materiais para embalagens: Polipropileno.

8 - CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL

Parâmetros de controle

Limites de exposição ocupacional:

Componentes	TLV – C (ACGIH, 2012)	LT (NR 15,1978)
Formol	0,3 ppm	1,6 ppm

Componentes	TLV – TWA (ACGIH, 2012)	TLV – STEL (ACGIH,2012)	LT (NR 15,1978)
Amônia	25 ppm	35 ppm	20 ppm

Indicadores biológicos: Não estabelecidos.

Medidas de controle de engenharia: Promova ventilação mecânica e sistema de exaustão direta para o meio exterior. Estas medidas auxiliam na redução da exposição ao produto. Manter as concentrações atmosféricas, dos constituintes do produto, abaixo dos limites de exposição ocupacional indicados.

Medidas de proteção pessoal

- Proteção dos olhos: Óculos de segurança com proteção lateral.

- Proteção da pele e corpo: Luvas de proteção de cano longo de borracha natural ou nitrílica nas atividades de preparo de soluções e preparo de misturas para aplicações ao solo, o que evitará a descamação do tecido cutâneo, notadamente das mãos, em decorrência do uso contínuo. Vestuário protetor adequado.

- Proteção respiratória: Recomenda-se a utilização de respirador com filtro para vapores orgânicos para exposições médias acima da metade do TLV-TWA. Nos casos em que a exposição exceda 3 vezes o valor TLV-TWA, utilize respirador do tipo autônomo (SCBA) com suprimento de ar, de peça facial inteira, operado em modo de pressão positiva. Siga orientação do Programa de Prevenção Respiratória (PPR), 3ª ed. São Paulo: Fundacentro, 2002.



Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: **UREIA FERTILIZANTE**

Página 6 de 11

Data: 22/06/2015

Nº FISPQ: BR614

Versão: 3

Anula e substitui versão: todas anteriores

- Perigos térmicos: Não apresenta perigos térmicos.

9 - PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS

Aspecto (estado físico, forma e cor):	Grânulos brancos (sólido).
Odor e limite de odor:	Inodoro.
pH:	7,2 (10% em solução).
Ponto de fusão/ponto de congelamento:	134 °C.
Ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição:	Ureia decompõe-se quando aquecida.
Ponto de fulgor:	Não aplicável. Ureia decompõe-se quando aquecida.
Taxa de evaporação:	Não aplicável.
Inflamabilidade (sólido, gás):	Não inflamável.
Limite inferior/superior de inflamabilidade ou explosividade:	Não aplicável.
Pressão de vapor:	1,2 x 10 ⁻⁵ mmHg a 25°C.
Densidade de vapor:	45 mmHg a 20 °C (solução a 50%).
Densidade:	1,335 a 20 °C
Solubilidade(s):	Miscível em água. Insolúvel em benzeno e solução de ácido acético. Solúvel em pirimidina.
Coefficiente de partição – n-octanol/água:	Log kow: -2,11
Temperatura de auto-ignição:	Não aplicável. Ureia decompõe-se quando aquecida.
Temperatura de decomposição	Não disponível.
Viscosidade:	1,88 cP a 20 °C (em solução a 50 %).

10 - ESTABILIDADE E REATIVIDADE

Estabilidade e reatividade: Produto estável sob condições normais de temperatura e pressão.



Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: **UREIA FERTILIZANTE**

Página 7 de 11

Data: 22/06/2015

Nº FISPQ: BR614

Versão: 3

Anula e substitui versão: todas anteriores

Possibilidade de reações perigosas:	Não sofre polimerização. Reage violentamente com oxidantes fortes, nitritos, cloretos e percloratos inorgânicos causando incêndio e explosão. A dissolução endotérmica inicia-se com água ou umidade.
Condições a serem evitadas:	Temperaturas elevadas e contato com materiais incompatíveis.
Materiais incompatíveis:	Oxidantes fortes, nitritos de calcionamida, cloretos inorgânicos e percloratos.
Produtos perigosos da decomposição:	Em combustão pode liberar vapores tóxicos e irritantes.

11 - INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS

Toxicidade aguda:	Não classificado como tóxico agudo. DL ₅₀ (oral, rato): 8471 mg/kg
Corrosão/irritação da pele:	Pode causar irritação à pele com vermelhidão e dor.
Lesões oculares graves/ irritação ocular:	Pode causar irritação à pele com vermelhidão e dor.
Sensibilização respiratória ou à pele:	Não é esperado que o produto provoque sensibilização respiratória ou à pele.
Mutagenicidade em células germinativas:	Não é esperado que o produto apresente mutagenicidade em células germinativas.
Carcinogenicidade:	Não é esperado que o produto apresente carcinogenicidade.
Toxicidade à reprodução:	Não é esperado que o produto apresente toxicidade à reprodução.
Toxicidade para órgãos-alvo específicos – exposição única:	Pode causar irritação das vias aéreas superiores com tosse e garganta seca. Pode causar dor de cabeça, náusea, vômito e desorientação se ingerido ou inalado.
Toxicidade para órgãos-alvo específicos – exposição repetida:	O contato repetido e prolongado pode causar dermatite.
Perigo por aspiração:	Não é esperado que o produto apresente perigo por aspiração.

12 - INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS

Efeitos ambientais, comportamentos e impactos do produto

Ecotoxicidade:	Não é esperado que o produto apresente perigo para organismos aquáticos.
----------------	--



Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: **UREIA FERTILIZANTE**

Página 8 de 11

Data: 22/06/2015

Nº FISPQ: BR614

Versão: 3

Anula e substitui versão: todas anteriores

Persistência e degradabilidade:	É esperada rápida degradação e baixa persistência.
Potencial bioacumulativo:	Apresenta baixo potencial bioacumulativo em organismos aquáticos. BCF: 1-10 Log Kow: - 2,11
Mobilidade no solo:	Alta.
Outros efeitos adversos:	A depender da concentração, finos de ureia em suspensão na atmosfera poderão acarretar a queima (não confundir com combustão) da folhagem dos vegetais. Um teor de biureto na ureia, superior a 0,3% é danoso para a saúde da maioria dos vegetais podendo queimar sua folhagem. No solo, teor acima de 1,5% já compromete a germinação de sementes. O efeito corrosivo é também comum quando há contato entre poeira do produto e diversos metais, principalmente o aço carbono. Especial atenção deve ser dada a subestações localizadas próximas de instalações que processem ou manipulem ureia uma vez que linhas de transmissão, transformadores e material elétrico em geral também sofrem ação corrosiva do produto.

13 - CONSIDERAÇÕES SOBRE DESTINAÇÃO FINAL

Métodos recomendados para tratamento e disposição aplicados ao:

- Produto:	Devem ser eliminados como resíduos perigosos de acordo com a legislação local. O tratamento e a disposição devem ser avaliados especificamente para cada produto. Devem ser consultadas legislações federais, estaduais e municipais, dentre estas: Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos).
- Restos de produtos:	Manter restos do produto em suas embalagens originais, fechadas e dentro de tambores metálicos, devidamente fechados, de acordo com a legislação aplicável. O descarte deve ser realizado conforme o estabelecido para o produto, recomendando-se as rotas de processamento em cimenteiras e a incineração.
- Embalagem usada:	Nunca reutilize embalagens vazias, pois elas podem conter restos do produto e devem ser mantidas fechadas e encaminhadas para serem destruídas em local apropriado. Neste caso, recomenda-se envio para rotas de recuperação dos tambores de incineração.

14 - INFORMAÇÕES SOBRE TRANSPORTE

Regulamentações nacionais e internacionais



Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: **UREIA FERTILIZANTE**

Página 9 de 11

Data: 22/06/2015

Nº FISPQ: BR614

Versão: 3

Anula e substitui versão: todas anteriores

Terrestre:	Resolução nº. 420 de 12 de Fevereiro de 2004 da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) <i>Aprova as Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos e suas modificações.</i>
Hidroviário:	DPC - Diretoria de Portos e Costas (Transporte em águas brasileiras) Normas de Autoridade Marítima (NORMAM) NORMAM 01/DPC: Embarcações Empregadas na Navegação em Mar Aberto NORMAM 02/DPC: Embarcações Empregadas na Navegação Interior IMO – “ <i>International Maritime Organization</i> ” (Organização Marítima Internacional) <i>International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG Code) – Incorporating Amendment 34-08; 2008 Edition.</i>
Aéreo:	ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil – Resolução nº129 de 8 de dezembro de 2009. RBAC Nº 175 – (REGULAMENTO BRASILEIRO DA AVIAÇÃO CIVIL) – TRANSPORTE DE ARTIGOS PERIGOSOS EM AERONAVES CIVIS. IS Nº 175-001 – INSTRUÇÃO SUPLEMENTAR - IS ICAO - “ <i>International Air Transport Association</i> ” (Organização da Aviação Civil Internacional) – Doc 9284-NA/905 IATA – “ <i>International Air Transport Association</i> ” (Associação Nacional de Transporte Aéreo) <i>Dangerous Goods Regulation (DGR).</i>
Nº ONU:	Não classificado como perigoso para o transporte nos diferentes modais.

15 - INFORMAÇÕES SOBRE REGULAMENTAÇÕES

Regulamentações:

Decreto Federal nº 2.657, de 3 de julho de 1998.

Norma ABNT-NBR 14725:2012.

Lei nº12.305, de 02 de agosto de 2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos).

Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010.

Portaria nº 229, de 24 de maio de 2011 – Altera a Norma Regulamentadora nº 26.



Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: **UREIA FERTILIZANTE**

Página 10 de 11

Data: 22/06/2015

Nº FISPQ: BR614

Versão: 3

Anula e substitui versão: todas anteriores

16 - OUTRAS INFORMAÇÕES

Esta FISPQ foi elaborada com base nos atuais conhecimentos sobre o manuseio apropriado do produto e sob as condições normais de uso, de acordo com a aplicação especificada na embalagem. Qualquer outra forma de utilização do produto que envolva a sua combinação com outros materiais, além das formas de uso diversas daquelas indicadas, são de responsabilidade do usuário.

Adverte-se que o manuseio de qualquer substância química requer o conhecimento prévio de seus perigos pelo usuário. No local de trabalho cabe à empresa usuária do produto promover o treinamento de seus empregados e contratados quanto aos possíveis riscos advindos da exposição ao produto químico.

FISPQ elaborada em Junho de 2015.

Legendas e abreviaturas

ACGIH – *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*

BCF – *Bioconcentration Factor*

C – *Ceiling*

CAS – *Chemical Abstracts Service*

DL₅₀ – *Dose Letal 50%*

STEL – *Short Term Exposure Limit*

TLV – *Threshold Limit Value*

TWA – *Time Weighted Average*

Bibliografia

[ACGIH] AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. Disponível em: <http://www.acgih.org/TLV/>. Acesso em: Fevereiro de 2011.

[ECB] EUROPEAN CHEMICALS BUREAU. Diretiva 67/548/EEC (substâncias) e Diretiva 1999/45/EC (preparações). Disponível em: <http://ecb.jrc.it/>. Acesso em: Fevereiro de 2011.

[EPI-USEPA] ESTIMATION PROGRAMS INTERFACE Suite - United States Environmental Protection Agency. Software.

[HSDB] HAZARDOUS SUBSTANCES DATA BANK. Disponível em: <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB>. Acesso em: Fevereiro de 2011.

[IARC] INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. Disponível em: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>. Acesso em: Fevereiro de 2011.

[IPCS] INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY – INCHEM. Disponível em: <http://www.inchem.org/>. Acesso em: Fevereiro de 2011.

[IUCLID] INTERNATIONAL UNIFORM CHEMICAL INFORMATION DATABASE. [s.l.]: European Chemical Bureau. Disponível em: <http://ecb.jrc.ec.europa.eu>. Acesso em: Fevereiro de 2011.

[NIOSH] NATIONAL INSTITUTE OF OCCUPATIONAL AND SAFETY. International Chemical Safety Cards. Disponível em: <http://www.cdc.gov/niosh/>. Acesso em: Fevereiro de 2011.

[NITE-GHS JAPAN] NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY AND EVALUATION. Disponível em: http://www.safe.nite.go.jp/english/ghs_index.html. Acesso em: Fevereiro de 2011.



Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: **UREIA FERTILIZANTE**

Página 11 de 11

Data: 22/06/2015

Nº FISPQ: BR614

Versão: 3

Anula e substitui versão: todas anteriores

[REACH] REGISTRATION, EVALUATION, AUTHORIZATION AND RESTRICTION OF CHEMICALS. Commission Regulation (EC) No 1272/2008 of 16 December 2008 amending and repealing Directives 67/548/EEC and 1999/45/EC, and amending Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council on the Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals.

[SIRETOX/INTERTOX] SISTEMA DE INFORMAÇÕES SOBRE RISCOS DE EXPOSIÇÃO QUÍMICA. Disponível em: <http://www.intertox.com.br>. Acesso em: Fevereiro de 2011.

[TOXNET] TOXICOLOGY DATA NETWORKING. ChemIDplus Lite. Disponível em: <http://chem.sis.nlm.nih.gov/>. Acesso em: Fevereiro de 2011.

ANEXO C

Ficha de informações sobre a ureia B fornecida pelo fabricante. **Custo: R\$9,00/kg.**

	FICHA DE INFORMAÇÃO TÉCNICA			Registro: 141
	URÉIA			
Revisado por: Júlia Versiani Gomes	Data da última revisão: 03/08/2015	Nº Revisão: 03	Nº de Páginas: 1/3	

1 – IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO

Nome do produto	Uréia		
Nome Químico	Uréia		
INCI	UREA		
CAS	57-13-6		
Fórmula Molecular	CH ₄ N ₂ O	PM = 60,06	
Fórmula estrutural	Não consta.		
Categoria	Queratolítico e hidratante.		

2 – APLICAÇÃO

Hidratante da pele. Cremes e loções para pele.

3 – CONCENTRAÇÕES DE USO

3 a 10 % - hidratante corporal

Acima de 10% - queratolítico

4 – INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Contém, no mínimo, 99,0% e, no máximo, 100,5% de CH₄N₂O, em relação à substância dessecada.

A uréia, quimicamente, é a diamida do ácido carbônico, importante por ser o principal produto do metabolismo do nitrogênio. Funciona como base monoácida, dando sais, dos quais o nitrato e o oxalato são os mais abundantes.

Instabilidade: O produto é instável na presença de calor.

	FICHA DE INFORMAÇÃO TÉCNICA			Registro: 141
	URÉIA			
Revisado por: Júlia Versiani Gomes	Data da última revisão: 03/08/2015	Nº Revisão: 03	Nº de Páginas: 2/3	

Incompatíveis: Evitar o contato com Hipoclorito e Perclorato de Gálio, pois podem causar reação violenta.

Produtos perigosos da decomposição: Aquecido na presença de hidróxidos, forma amônia e dióxido de carbono.

5 – ANÁLISES FÍSICO - QUÍMICAS

TESTE	ESPECIFICAÇÃO
Aspecto	Pó ou cristais
Cor	Branco (pó) ou cristalino (cristais)
Odor	Praticamente inodoro, mas pode gradualmente desenvolver odor de amônia após certo período de armazenamento
Solubilidade	Facilmente solúvel em água, solúvel em etanol, praticamente insolúvel em clorofórmio e em éter etílico
Faixa de Fusão	Entre 132°C a 135°C
Perda por Dessecação	No máximo 1,0%
Cinzas Sulfatadas	No máximo 0,1%
Cloretos	No máximo 0,007% (70 ppm)
Sulfatos	No máximo 0,012% (120 ppm)
Metais Pesados	No máximo 0,001% (10 ppm)
Amônia	No máximo 0,05% (500 ppm)
Identificação	Desenvolve-se coloração violeta-avermelhada
	Produz-se precipitado branco cristalino de nitrato de ureia
Resíduo Insolúvel em Etanol	No máximo 2 mg (0,04%)

Referência: Farmacopéia Brasileira, 5 eds., vol. 2, pag. 1351.

	FICHA DE INFORMAÇÃO TÉCNICA			Registro: 141
URÉIA				
Revisado por: Júlia Versiani Gomes	Data da última revisão: 03/08/2015	Nº Revisão: 03	Nº de Páginas: 3/3	

6 – ARMAZENAMENTO

O produto deve ser armazenado em local seco e fresco, distantes de fontes de ignição e de materiais incompatíveis (nitrato de amônia). Proteger o produto do calor e contra radiação solar direta e contra possíveis contaminações.

7 – INFORMAÇÕES ADICIONAIS

As informações contidas nessa Ficha Técnica foram compiladas de nossos fornecedores e de várias publicações técnicas tidas como verdadeiras. Não garantimos a exatidão dos dados. O único propósito deste documento é ser um guia para utilização apropriada do material. É de responsabilidade do usuário determinar a adequação destas informações para o uso correto do produto.

ANEXO D

Laudo de análise da ureia A.



Nome da Empresa

LAUDO DE ANÁLISE Nº 37289

DADOS DO CLIENTE

Cliente Isa Carla Nicesio

Dados do Cliente

Data Entrada: 06/01/2017

Coletor: Cliente

Solicitante: Isa

Grupo: Produto acabado

RESULTADOS ANALÍTICOS

OS Nº 00248

Identificação da amostra: Uréia - Amostra A

Parâmetro	Unidade	Resultado	VMP	LQ	Metodologia
Nitrato	mg/100g	10,27	-	0,61	MQT 020 E MQT 019
Nitrogênio (total)	g/100g	52,61	-	0,03	IAL 037/IV
Uréia	g/100g	99,96	-	-	Ensaio enzimático colorimétrico, Labtest

Legenda

AOAC - Official methods of analysis of AOAC International, 18th ed., 2005; FARM - Farmacopéia Brasileira, 5ª ed.; IAL - Métodos Físico-químicos para análise de alimentos. Instituto Adolfo Lutz, 4ª ed., 2005; LQ - Limite de quantificação; NC - Não consta; ND - Não detectado; NMP - Número mais provável; S/WWA - Standard methods for the examination of water and wastewater, 22th Ed., 2012; UFC - Unidade formadora de colônia; VMP - Valor máximo permitido. Não detectado: < limite de quantificação.

Observações

Reconhecimento válido somente para os serviços prestados por este laboratório que sejam visualizados no endereço: <http://www.rmmg.org.br> na página de laboratórios reconhecidos, Ensaio e Calibração.

Obs. Resultado:

Abrangência

Os resultados expressos neste laudo referem-se somente ao material recebido

Plano de Amostragem

Plano de amostragem de responsabilidade do interessado

Data da Realização das Análises

[A Empresa] garante que as análises foram executadas dentro do prazo de validade de cada parâmetro segundo manual de coleta, quando todo o processo analítico (coleta e análise) é de responsabilidade da [Empresa]. Quando a coleta é de responsabilidade do interessado, caso haja algum desvio, o cliente é previamente consultado para continuação das análises.

Data: 24/01/2017


 Dr. Jorge Barquete CRF 6-2090
 Rita de Cássia D. da Silva CRQ 02404597

Endereço da Empresa

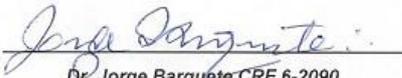
ANEXO E

Laudo de análise da ureia B.

Logomarca	Nome da Empresa				
	LAUDO DE ANÁLISE Nº 37289				
DADOS DO CLIENTE					
Cliente	Isa Carla Nicesio				
Dados do Cliente					
Data Entrada:	06/01/2017				
Solicitante:	Isa				
Coletor	Cliente				
Grupo:	Produto acabado				
RESULTADOS ANALÍTICOS					
OS Nº 00249					
Identificação da amostra: Uréia - Amostra B					
Parâmetro	Unidade	Resultado	VMP	LQ	Metodologia
Nitrato	mg/100g	1,65	-	0,61	MQT 020 E MQT 019
Nitrogênio (total)	g/100g	44,03	-	0,03	IAL 037/IV
Uréia	g/100g	97,46	-	-	Ensaio enzimático colorimétrico, Labtest
Legenda					
AOAC - Official methods of analysis of AOAC International, 18th ed., 2005; FARM - Farmacopéia Brasileira, 5ª ed.; IAL - Métodos Físico-químicos para análise de alimentos. Instituto Adolfo Lutz, 4ª ed., 2005; LQ - Limite de quantificação; NC - Não consta; ND - Não detectado; NMP - Número mais provável; SWWA - Standard methods for the examination of water and wastewater, 22th Ed., 2012; UFC - Unidade formadora de colônia; VMP - Valor máximo permitido. Não detectado: < limite de quantificação.					
Observações					
Reconhecimento válido somente para os serviços prestados por este laboratório que sejam visualizados no endereço: http://www.rmmg.org.br na página de laboratórios reconhecidos, Ensaio e Calibração.					
Obs. Resultado:					
Abrangência					
Os resultados expressos neste laudo referem-se somente ao material recebido					
Plano de Amostragem					
Plano de amostragem de responsabilidade do interessado					
Data da Realização das Análises					
A Empresa garante que as análises foram executadas dentro do prazo de validade de cada parâmetro segundo manual de coleta, quando todo o processo analítico (coleta e análise) é de responsabilidade da Empresa. Quando a coleta é de responsabilidade do interessado, caso haja algum desvio, o cliente é previamente consultado para continuação das análises.					
Data:	24/01/2017				
 Dr. Jorge Barquete CRF 6-2090 Rita de Cássia D. da Silva CRQ 02404597					
Endereço da Empresa					
Pág. 2 de 3 / Ver. 1					

ANEXO F

Laudo de análise da ureia C.

Logomarca	Nome da Empresa				
	LAUDO DE ANÁLISE Nº 37289				
DADOS DO CLIENTE					
Cliente Isa Carla Nicesio					
Dados do Cliente					
Data Entrada: 06/01/2017	Coletor Cliente				
Solicitante: Isa	Grupo: Produto acabado				
RESULTADOS ANALÍTICOS					
OS Nº 00250					
Identificação da amostra: Uréia - Amostra C					
Parâmetro	Unidade	Resultado	VMP	LQ	Metodologia
Nitrato	mg/100g	1,74	-	0,61	MQT 020 E MQT 019
Nitrogênio (total)	g/100g	44,85	-	0,03	IAL 037/IV
Ureia	g/100g	103,53	-	-	Ensaio enzimático colorimétrico, Labtest
Legenda					
AOAC - Official methods of analysis of AOAC International, 18th ed., 2005; FARM - Farmacopéia Brasileira, 5ª ed., IAL - Métodos Físico-químicos para análise de alimentos. Instituto Adolfo Lutz, 4ª ed., 2005; LQ - Limite de quantificação; NC - Não consta; ND - Não detectado; NMP - Número mais provável; SWWA - Standard methods for the examination of water and wastewater, 22th Ed., 2012; UFC - Unidade formadora de colônia; VMP - Valor máximo permitido. Não detectado: < limite de quantificação.					
Observações					
Reconhecimento válido somente para os serviços prestados por este laboratório que sejam visualizados no endereço: http://www.rmmg.org.br na página de laboratórios reconhecidos, Ensaio e Calibração.					
Obs. Resultado:					
Abrangência					
Os resultados expressos neste laudo referem-se somente ao material recebido					
Plano de Amostragem					
Plano de amostragem de responsabilidade do interessado					
Data da Realização das Análises					
A Empresa garante que as análises foram executadas dentro do prazo de validade de cada parâmetro segundo manual de coleta, quando todo o processo analítico (coleta e análise) é de responsabilidade da Empresa. Quando a coleta é de responsabilidade do interessado, caso haja algum desvio, o cliente é previamente consultado para continuação das análises.					
Data: 24/01/2017	 Dr. Jorge Barquete CRF 6-2090 Rita de Cássia D. da Silva CRQ 02404597				
Endereço da Empresa					