

NACIONALGÁS 

BRASILGÁS 

PARAGÁS 



ESTUDO DE RISCO DEVIDO AO ACÚMULO DE
ENERGIA ESTÁTICA EM BICOS DE ENCHIMENTO
FABRICADOS COM AÇO INOXIDÁVEL
AUSTENÍTICO AISI 304 APÓS DEFORMAÇÃO

FORTALEZA

2019

NACIONALGÁS 

BRASILGÁS 

PARAGÁS 



DADOS DO CASE

Categoria:

Segurança.

Autores:

- Helder Maia Torquato – Nacional Gás.
Contatos: helder.maia@nacionalgas.com.br
(085) 3466.8849
- Lázaro Alano Almeida Alves – Nacional Gás.
Contatos: lazaro.alves@nacionalgas.com.br
(085) 3466.7436
- Milton Sérgio Mendes Silva – Nacional Gás.
Contatos: milton.mendes@nacionalgas.com.br
(085) 3466.8934
- Thiago Alencar Luna Ferreira – Nacional Gás.
Contatos: thiago.alencar@nacionalgas.com.br
(085) 3466.7421
- Wildenbergy Pereira Lucas – Nacional Gás.
Contatos: wildenbergylucas@nacionalgas.com.br
(085) 3466.8921

RESUMO

Na indústria de GLP, um dos fatores determinantes para a execução das atividades é a segurança operacional, visto que o gás LP é um produto inflamável e deve-se evitar qualquer tipo de ponto de ignição durante as operações de envase ou descarregamento. Desta forma, as empresas investem em equipamentos que garantam a segurança da operação, porém, mesmo com a preocupação e rigidez adotados nesta área, ainda podem ocorrer situações que põem em risco a operação de envase de gás LP. Um fenômeno que pode gerar tal risco, é o acúmulo de energia estática em equipamentos e/ou componentes metálicos, pois estas cargas em repouso podem ocasionar o surgimento de centelha, que ocorre no momento em que o meio em que estão inseridas passa por um desequilíbrio ou desordem, como por exemplo o contato entre dois materiais, ou o contato do componente com o corpo humano. Este acúmulo de cargas pode ocorrer no aço, que é um dos principais materiais utilizados na fabricação de equipamentos e componente industriais. Para evitar que ocorra este fenômeno, a indústria de GLP utiliza comumente o aço inoxidável austenítico, por ser um aço que não possui características magnéticas e, conseqüentemente, não favorecem o acúmulo de cargas em repouso. Um dos aços mais utilizados para este fim, é o aço inoxidável austenítico AISI 304, por possuir boas propriedades mecânicas e químicas, além de um baixo custo. Porém, este aço pode se tornar magnético através da formação de martensita, que pode ocorrer após este sofrer deformação à frio. No processo de envase, os bicos de enchimento são responsáveis pela conexão com a válvula do vasilhame, esses por sua vez são fabricados em aço inoxidável austenítico AISI 304 e durante a operação, estes bicos acabam sofrendo deformação em virtude dos impactos sofridos em conexões malsucedidas com a válvula do vasilhame, seja por falha humana em linhas manuais, seja por falha de admissão em linha automatizadas. O fato é que a microestrutura do aço dos bicos com a passar do tempo se modifica, propiciando a formação da martensita e desta forma adquirem características magnéticas que podem gerar, pelos motivos já expostos, pontos de ignição. Ou seja, o material que deveria garantir segurança por suas propriedades, após sofrer deformação à

NACIONALGÁS 

BRASILGÁS 

PARAGÁS 



frio, se modifica e torna os componentes fabricados com ele, pontos de risco que podem gerar graves acidentes. Muitos acidentes ocorridos na indústria de inflamáveis podem ter como causa a formação de energia estática em bicos de enchimento fabricados em aço inoxidável austenítico AISI 304. Porém, não foi localizado nenhum estudo desenvolvido na área com objetivo de analisar tal situação. Com o propósito de entender e eliminar este risco, a Nacional Gás desenvolveu um estudo no qual investigou os motivos para o acúmulo de energia estática nestes componentes através da análise de documentação dos materiais, acompanhamento de processo de usinagem na fabricação dos bicos, análise laboratorial de materiais com ensaios de microscopia, além da simulação do desgaste dos bicos em condições reais de utilização para evidenciar a formação de martensita e transformação do material austenítico tornando-o magnético. Com os resultados obtidos, apresentou soluções nas quais analisou desde possíveis tratamentos para aço inoxidável a fim de reverter esta condição, até a substituição completa deste material por outros, pretendendo que o envase ocorra de forma totalmente segura. As propostas ocorrem de forma que o processo não sofra alterações e que a vida útil dos componentes não seja modificada.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bico de enchimento para posto de enchimento mecânico	12
Figura 2 – Bico de enchimento para posto de enchimento eletrônico.....	12
Figura 3 – Diagrama de Schaeffler.....	17
Figura 4 – Permeabilidade magnética	24
Figura 5 – Material AIA AISI 304-ND	32
Figura 6 – Material AIA AISI 304-D	33
Figura 7 – Material AIA AISI 316-ND	33
Figura 8 – Material AIA AISI 316-D	34
Figura 9 – Teste do bico de posto mecânico recém fabricado, antes da deformação.....	35
Figura 10 – Teste do bico de posto eletrônico recém fabricado, antes da deformação. .	35
Figura 11 – Teste do material AIA AISI 316-ND, antes da deformação.	36
Figura 12 – Teste do material AIA AISI 304-D, após da deformação.....	36
Figura 13 – Teste do material AIA AISI 316-D, após da deformação.....	37
Figura 14 – Teste de componente do bico do posto mecânico fabricado em AIA AISI 304, após deformação.	37
Figura 15 – Teste de componente agulha do bico do posto mecânico fabricado em AIA AISI 304, após deformação.	38
Figura 16 – Teste do bico do posto eletrônico fabricado em AIA AISI 304, após deformação	38
Figura 17 – Microscopia do AIA AISI 304 não deformado – Ampliação 500x	39
Figura 18 – Microscopia do AIA AISI 304 não deformado – Ampliação 1000x	40
Figura 19 – Microscopia do AIA AISI 316 não deformado – Ampliação 500x	41
Figura 20 – Microscopia do AIA AISI 316 não deformado – Ampliação 1000x	41
Figura 21 – Protótipo de teste para deformação dos bicos	43
Figura 22 – Bico deformado após desgaste de utilização.....	43
Figura 23 – Microscopia do AIA AISI 304 deformado – Ampliação 500x	44
Figura 24 – Microscopia do AIA AISI 304 deformado – Ampliação 1000x	45
Figura 25 – Microscopia do AIA AISI 316 deformado.....	46

NACIONALGÁS 

BRASILGÁS 

PARAGÁS 



GRUPO
EdsonQueiroz

Figura 26 – Microscopia do AIA AISI 316 deformado..... 46

Figura 27 - Ensaio de dureza Rockell (HCB)..... 48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Composição química dos principais aços inoxidáveis austeníticos, % em massa para cada elemento AISI [14]	20
Quadro 2 – Propriedades mecânicas dos aços inoxidáveis austeníticos.....	20
Quadro 3 – Composição química do aço inoxidável austenítico AISI 304.....	31
Quadro 4 – Composição química do aço inoxidável austenítico AISI 316.....	31
Quadro 5 – Comparativo entre os aços analisados	42
Quadro 6 – Comparativo entre os aços analisados	47
Quadro 7 – Comparativo entre os aços analisados	47
Quadro 8 - Medições de dureza Rockwell das amostras	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Histórico da Nacional Gás Distribuidora Ltda	10
1.2 Cenário	11
1.3 Acidentes e energia estática	13
2. PROBLEMAS ENCOTRADOS	14
3. OBJETIVOS	15
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1 Histórico	16
4.2 Aços Inoxidáveis	16
4.3 Inoxidáveis martensíticos	18
4.4 Inoxidáveis ferríticos	18
4.5 Inoxidáveis austeníticos	19
4.6 Magnetismo	21
4.7 Magnetismo nos aços inoxidáveis	22
4.8 Solubilização	25
4.9 Formação da martensita	25
5. MÉTODOS	26
6. RESULTADOS	31
6.1 Recebimento dos materiais	32
6.2 Ensaio de magnetismo	34
6.3 Análise microestrutural inicial	39
6.4 Simulação de operação do bico de enchimento	42
6.5 Análise microestrutural final	44
6.6 Ensaio de dureza	48
7. CONCLUSÃO	50

NACIONALGÁS 

BRASILGÁS 

PARAGÁS 



GRUPO
EdsonQueiroz

REFERÊNCIAS 52

1. INTRODUÇÃO

1.1 Histórico da Nacional Gás Distribuidora Ltda

A história da Nacional Gás se inicia em 1951, com um jovem empreendedor chamado Edson Queiroz que percebeu mudanças que estavam ocorrendo no mercado mundial na época e trouxe as mesmas para realidade dos cearenses. No início houve uma grande resistência da população devido ao receio do GLP, no entanto o jovem Edson conseguiu convencer a população de Fortaleza a deixar os antigos fogões a lenha pelos novos fogões que utilizavam o novo produto. No início a empresa teve enormes dificuldades, pois além do grande preconceito do povo nordestino com o produto, ainda era difícil a obtenção de GLP, pois o produto era importado do México e Estados Unidos e ainda existia a dificuldade de distribuição do mesmo. Para conseguir superar esses obstáculos foi preciso que o jovem empresário passasse a vender fogões, além de ter que ir pessoalmente nas casas dos clientes para fazer a instalação e informar sobre as vantagens dos novos produtos.

Em 1953, após uma ação arrojada, Edson Queiroz obteve a autorização para carregar seus botijões de gás na Refinaria Lanulfo Alves em Mataripe/BA. A partir desta concessão, a Edson Queiroz & Cia., que tinha 289 clientes e comercializava 2,9 toneladas por mês, a partir dessa ação foram reduzidos os custos para obtenção do GLP, conseguindo progressos significativos na distribuição. Por outro lado, o mercado continuava crescendo com a disruptiva do preconceito dos consumidores em Fortaleza. Foi quando a empresa iniciou um crescimento e ampliou para outros estados do Brasil, além deste fato, também se estendeu para outras atividades econômicas.

A Nacional Gás chega aos dias atuais com foco na modernidade, com destaque nacional na comercialização de envasados domiciliar e crescendo cada vez mais no setor granel, graças ao reconhecimento e preferência dos seus parceiros de negócios,

clientes e consumidores. Atuando no armazenamento, envase e distribuição de GLP, está presente em quase todo o território nacional.

1.2 Cenário

O processo de envase de GLP é realizado em terminais que armazenam, envazam e distribuem o produto. Uma das principais preocupações de um terminal como este é a segurança, tanto devido ao armazenamento temporário do GLP, realizado em vasos de pressão, quanto pela operação envolvida no processo de envase e distribuição do produto. A segurança é essencial para os colaboradores que estão inseridos na empresa e para a sociedade.

Devido a este fato, a Nacional Gás está sempre atenta para possíveis causas de insegurança em seus terminais, e utiliza de tecnologias avançadas e profissionais extremamente capacitados para prever possíveis sinistros que possam ocorrer. Uma das ações tomadas da companhia é capacitar seus colaboradores para que sempre busquem possíveis falhas que possam causar algum tipo de acidente ou anomalia.

Durante o processo de envase, os vasilhames são colocados em transportadores e conduzidos ao carrossel, maquinário onde ocorre a injeção do gás. Após entrada da vasilha no carrossel, o recipiente é posicionado nos postos de enchimento e acontece então o acoplamento dos bicos de enchimento ao vasilhame, nesse momento o gás é inserido na vasilha até seu peso comercial e posteriormente retorna ao transportador para que seja pintado, rotulado e lacrado, tornando-se apto para ser comercializado.

Na injeção do gás nas vasilhas, o GLP passa por um componente chamado bico de enchimento, tal componente é responsável por realizar a abertura da válvula de enchimento presente no vasilhame e guiar o gás para dentro da vasilha. Um dos aços mais utilizados para a construção dos bicos de enchimento é o inoxidável austenítico AISI 304 por possuir boas propriedades mecânicas e bom custo benefício. As figuras abaixo ilustram os dois tipos bicos de enchimento e seus componentes.



Figura 1 – Bico de enchimento para posto de enchimento mecânico



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 2 – Bico de enchimento para posto de enchimento eletrônico



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Inicialmente o AISI 304 foi um material escolhido para uso em alguns componentes pois além de possuir os benefícios citados anteriormente, não possui características magnéticas significativas. Fato relevante devido ao magnetismo propiciar a geração de energia estática, essa por sua vez pode ocasionar o surgimento de uma fonte de ignição e conseqüentemente causar acidentes.

1.3 Acidentes e energia estática

Ao longo dos anos ocorreram vários acidentes na indústria de GLP, onde em algumas investigações dos fatores que ocasionaram os acidentes concluíram-se que a energia estática é um dos principais agentes causadores. Por esse motivo existe uma grande preocupação em evitar que os materiais utilizados nos bicos de enchimento não possuam características magnéticas.

Utilizando-se dos princípios do magnetismo, sabe-se que o campo magnético favorece o acúmulo de energia estática superficialmente no material, que por sua vez pode gerar uma centelha durante o processo. Visto isso, se faz necessário realizar o teste nos bicos antes de serem instalados no posto de enchimento.

Se observarmos os princípios de atração de materiais e os materiais utilizados na fabricação dos bicos de enchimento forem magnéticos o contato ou aproximação entre o bico e o vasilhame pode gerar uma transferência de elétrons de um corpo para outro podendo causar faíscas e acarretando um grande risco na operação de envase. No entanto ao realizar o estudo detalhado do motivo do magnetismo em bicos, é possível verificar que somente realizar os testes de magnetismo pode não ser o suficiente para evitar o risco, devido a este fato foi iniciado um estudo do material dos bicos de postos de enchimento.

2. PROBLEMAS ENCOTRADOS

É recomendado que constantemente se realize teste de magnetismo nos bicos de enchimento dos postos para verificar se os bicos mantiveram as características iniciais da operação de quando foram instalados e que não possuem magnetismo.

Ao realizar-se uma dessas inspeções de rotina em uma das filiais da Nacional Gás, foi identificado que um dos bicos de um posto de enchimento apresentava magnetismo elevado.

Foi verificado que o bico de enchimento possuía certificação e que o material de fabricação do referido bico era de AIA AISI 304 e que estava de acordo com as especificações definidas em procedimento.

Deu-se então início a um estudo aprofundado de quais motivos poderiam ter causado tal fenômeno, e quais fatores poderiam influenciar para que o bico passasse a ter atração magnética após de um período operacional.

3. OBJETIVOS

Desenvolver estudo para evitar o acúmulo de energia estática nos bicos de enchimento durante o processo de envase do gás LP, melhorando a segurança operacional.

O trabalho desenvolvido possui os seguintes pontos como objetivos específicos:

- Descrever as possíveis causas para acúmulo de energia estática nos bicos de enchimento;
- Caracterizar os materiais estudados descrevendo sua composição química e propriedades mecânicas;
- Analisar as propriedades ferromagnéticas de possíveis materiais para confecção de novos bicos;
- Desenvolver um protótipo de bico de enchimento que atenda às necessidades de segurança e produção;
- Realizar testes para certificar o cumprimento das necessidades propostas.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Histórico

Os três tipos mais conhecidos de aços inoxidáveis (austeníticos, ferríticos e martensíticos) foram descobertos no início da segunda década do século XX. Os aços inoxidáveis duplex foram descobertos algumas décadas mais tarde e os aços inoxidáveis endurecíveis por precipitação foram desenvolvidos em meados do século XX. Os aços inoxidáveis austeníticos foram desenvolvidos nos laboratórios da Krupp, em Essen, na Alemanha, enquanto os inoxidáveis ferríticos foram descobertos em Pittsburgh, nos EUA, e os inoxidáveis martensíticos foram descobertos em Sheffield, na Inglaterra [15]. Portanto, pode-se dizer que os aços inoxidáveis tradicionais são materiais com cerca de um século de existência.

4.2 Aços Inoxidáveis

Em seguida são apresentadas as famílias dos aços inoxidáveis e algumas características importantes de cada uma.

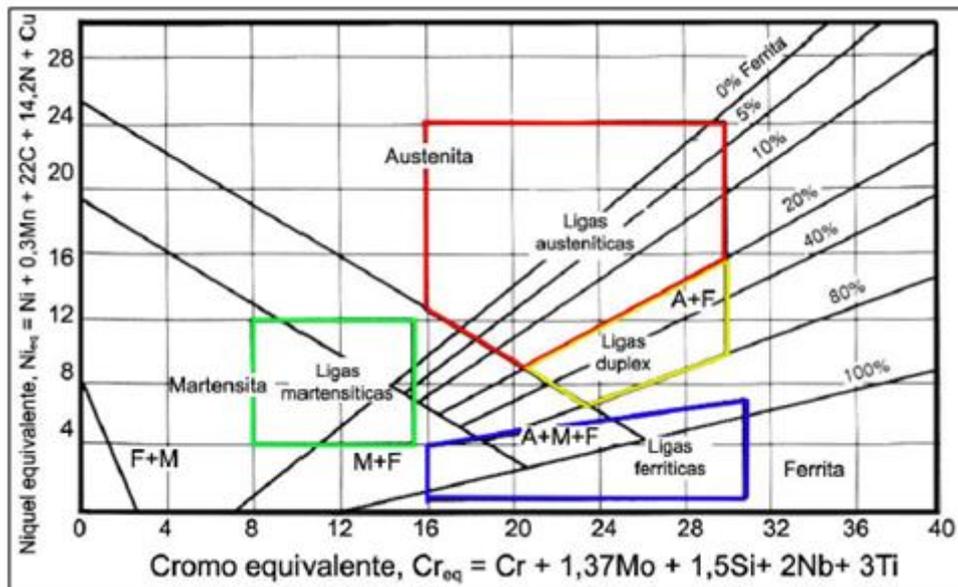
Com o intuito de analisar a influência dos elementos de liga presentes nos aços inoxidáveis austeníticos (AIA) na microestrutura após soldagem ou solidificação, foram criadas, a partir de estudos experimentais, algumas expressões que relacionam os elementos de liga de acordo com o efeito ferritizante ou austenitizante de cada elemento. Essas equações permitem o cálculo do cromo equivalente (Cr_{eq}) e do níquel equivalente (Ni_{eq}) [17-18]. O diagrama de Schaeffler [2], muito usado em soldagem (Figura 3) foi estabelecido levando em consideração o resultado das equações (1 e 2), chegando-se em uma previsão da microestrutura de solidificação de uma determinada composição química. Duas equações frequentemente utilizadas são apresentadas:

$$Cr_{eq} = Cr + 1,37Mo + 1,5Si + 2Nb + 3Ti \quad (1)$$

$$Ni_{eq} = Ni + 0,3Mn + 22C + 14,2N + Cu \quad (2)$$

O Diagrama de Schaeffler ilustra os campos de composição das principais famílias de aços inoxidáveis [2].

Figura 3 – Diagrama de Schaeffler



Fonte: Extraído de ASM Speciality Handbook: Stainless Steels (1994). [2]

As propriedades mecânicas dos AIA são altamente dependentes da composição química. Uma grande quantidade de ajustes de propriedades pode ser conseguida por meio de variações nas composições, obtendo-se materiais adequados para um amplo número de aplicações [1-4].

4.3 Inoxidáveis martensíticos

São obtidos após tratamento térmico conhecido por têmpera, que pode propiciar a formação de austenita em elevadas temperaturas e transformá-la em martensita por resfriamento rápido (têmpera). São basicamente ligas Fe-C-Cr com teores de Cr variando de 12 até 18% e carbono entre 0,1 e 1,20%, podendo haver pequena quantidade molibdênio, para se ter uma melhor resistência à corrosão. Possuem temperabilidade alta, devido aos altos teores de elementos de liga presentes, apresentam uma estrutura inteiramente martensítica em peças espessas, mesmo com resfriamento ao ar. Sua resistência à corrosão não é muito significativa comparada a dos outros tipos de aços inoxidáveis, porém satisfatória em meios pouco agressivos. Eles são ferromagnéticos. Suas principais aplicações estão ligadas às peças e componentes que demandam alta dureza, resistência mecânica e resistência à abrasão, tais como lâminas de facas, molas de caminhão e tesouras. O tipo mais comum desta família de aços inoxidáveis é o AISI 420 [19].

4.4 Inoxidáveis ferríticos

São ligas Fe-Cr que apresentam estrutura ferrítica na temperatura ambiente. Têm Cr entre 10,5 e 30% e baixos teores de C, menores que 0,1%. São aços que não são temperados, pois, não podem ser totalmente austenitizados. Proporcionam boa resistência à corrosão e um coeficiente de expansão térmico relativamente baixo. São ferromagnéticos e seu comportamento mecânico é semelhante aos aços carbono [9]. São largamente utilizados na fabricação de talheres, bandejas e na linha branca (fogões, geladeiras, lava-roupas), devido ao bom compromisso entre resistência à corrosão e custo baixo, pois este tipo de aço inoxidável pode não conter níquel ou este elemento pode estar presente em pequenos teores [9]. O tipo AISI 430 é o que melhor representa essa família.

4.5 Inoxidáveis austeníticos

Aços inoxidáveis austeníticos são usados principalmente para aplicações onde fenômenos relacionados à corrosão não são desejáveis. AISI 304 e 304 L são exemplos desses aços, que é amplamente utilizado como um componente estrutural para o sua excelente conformabilidade, comportamento mecânico e corrosão superior propriedades de resistência.

Está bem estabelecido que um dos fatores que são responsáveis pela boa resistência a tração do 304 e 304 L é a transformação da austenita metaestável a martensita durante a deformação. A quantidade de formação de martensita depende da composição química, temperatura e quantidade de deformação que ocorre durante o trabalho. Como o comportamento do material é afetado fortemente por muitos parâmetros de processamento e o ambiente circunvizinho, muitos investigadores estudaram a mecânica, corrosão, e comportamento microestrutural de 304 sob diferentes condições [8-15].

Dois tipos de fases de martensita podem ser formadas durante deformação de aço inoxidável austenítico, que são o tetragonal e o hexagonal. A formação de martensita no AISI 304 ocorre em pequena tensão e transforma quase completamente para martensita quando deformação aumenta, onde tetragonal é ferromagnético. Conseqüentemente, a austenita paramagnética 304 se torna ferromagnética após deformação.

Embora as medições de magnetização de saturação eram frequentemente usadas para avaliar a fração volumétrica de martensita, poucos estudos foram realizados para avaliação de outras propriedades ferromagnéticas, como coercividade, remanência, etc. para 304 SS plasticamente deformados.

Logo abaixo a composição química dos aços inoxidáveis austeníticos, pois algumas propriedades estão diretamente ligadas a composição química.

Quadro 1 – Composição química dos principais aços inoxidáveis austeníticos, % em massa para cada elemento AISI [14]

Material		Composição química						
AISI	C(%)	Si(%)	Mn(%)	P(%)	S(%)	Cr(%)	Ni(%)	Mo(%)
301	0,15	1	2	0,045	0,03	16,0-18,0	6,0-8,0	-
302	0,15	0,75	2	0,045	0,03	17,0-19,0	8,0-10,0	-
304	0,07	0,75	2	0,045	0,03	17,5-19,5	8,0-10,5	-
304L	0,03	0,75	2	0,045	0,03	17,5-19,5	8,0-12,0	-
304H	0,04-0,1	0,75	2	0,045	0,03	18,0-20,0	8,0-10,5	-
316	0,08	0,75	2	0,045	0,03	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0-3,0
316L	0,03	0,75	2	0,045	0,03	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0-3,0
317	0,08	0,75	2	0,045	0,03	18,0-20,0	11,0-15,0	3,0-4,0
317L	0,03	0,75	2	0,045	0,03	18,0-20,0	11,0-15,0	3,0-4,0
321	0,08	0,75	2	0,045	0,03	17,0-19,0	9,0-12,0	-

Fonte: Extraído de Moraes – Aços Inoxidáveis Austeníticos (2000). [14]

As propriedades mecânicas dos principais aços inoxidáveis austeníticos são listadas na Quadro 2. [20]

Quadro 2 – Propriedades mecânicas dos aços inoxidáveis austeníticos

Aço (AISI)	Limite de Escoamento (Mpa)	Limite de Resistência (Mpa)	Alongamento (%)	Dureza (HRb)
301	205	515	40	95
302	205	515	40	92
304	205	515	40	92
304L	170	485	40	92
304H	205	515	40	92
316	205	515	40	95
316L	170	485	40	95
317	205	515	35	95
317L	205	515	40	95
321	205	515	40	95

Fonte: Extraído de International Stainless Steel Forum – The Ferritic Solution (2007). [3]

4.6 Magnetismo

Muitos dispositivos que utilizamos no nosso cotidiano funcionam a partir do magnetismo. Alguns exemplos são os motores elétricos, geradores, transformadores, cartões magnéticos, rádio, entre vários outros, onde todos os materiais possuem características magnéticas.

O magnetismo dos materiais tem origem na combinação entre o momento angular orbital e o momento angular de spin dos átomos, que dão origem aos dipolos magnéticos microscópicos, fazendo com que cada átomo se comporte como um pequeno ímã. Assim, podemos dizer que o magnetismo é uma propriedade dos materiais que tem origem na estrutura molecular.

Os materiais podem ser classificados em três tipos de acordo com o magnetismo: diamagnéticos, paramagnéticos e ferromagnéticos. Essa distinção é feita considerando-se a origem e a forma como os dipolos magnéticos interagem. São essas características que determinam como o material comporta-se na presença de outro campo magnético.

Quando um material diamagnético é colocado na presença de um campo magnético externo, estabelece-se em seu interior outro campo magnético em sentido oposto ao qual ele foi submetido e que desaparece quando o campo externo é removido. É o mesmo que dizer que esse tipo de material é repelido pelo campo magnético.

Todos os materiais podem ser considerados diamagnéticos, porém essa característica é insignificante quando o material é ferromagnético ou paramagnético. Macroscopicamente, esses materiais são caracterizados por não serem atraídos pelos ímãs. Alguns exemplos são a água, madeira, plástico e alguns metais, como o mercúrio, o ouro e a prata.

Os materiais paramagnéticos são aqueles que têm seus momentos angulares alinhados ao serem colocados nas proximidades de um campo magnético. Esse alinhamento ocorre paralelamente ao campo magnético externo e faz com que o material se comporte da mesma forma que o ímã normal. Sendo assim, eles são atraídos pelos ímãs e passam a ter as mesmas características que eles. Entretanto, quando o campo externo é retirado, o material perde suas propriedades magnéticas e volta “a comportar-se normalmente”. Exemplos: alumínio, sódio, magnésio e cálcio.

Os materiais ferromagnéticos são classificados como os materiais que possuem memória magnética, isto é, quando são submetidos a um campo magnético externo, eles têm seus momentos angulares alinhados e passam a comportar-se da mesma forma que o ímã. Além disso, essas características permanecem mesmo após o ímã ser removido. Alguns exemplos são o ferro, níquel, cobalto e algumas ligas.

4.7 Magnetismo nos aços inoxidáveis

Resposta magnética ou a falta dela é muitas vezes uma das primeiras coisas que as pessoas pensam como uma propriedade básica dos aços inoxidáveis. A resposta dos aços inoxidáveis a um ímã é uma propriedade física interessante e pode ser um teste de classificação útil.

Fundições em aços inoxidáveis austeníticos têm composições ligeiramente diferentes em comparação com suas contrapartes forjadas. A versão do elenco do 316L, por exemplo, é a classe CF-3M. A maioria das ligas fundidas “austeníticas” é muito deliberadamente feita de forma que elas tenham alguns por cento de ferrita - isso ajuda a prevenir trincas durante a fundição. Um baixo percentual de ferrita resulta em uma pequena quantidade de resposta magnética, mas pode ser prontamente detectada com um bom ímã portátil.

O trabalho a frio também influencia nas propriedades magnéticas do aço inoxidável. Mesmo que os aços inoxidáveis austeníticos trabalhados sejam não-magnéticos na condição recozida, eles podem desenvolver uma resposta magnética

quando trabalhados a frio. O trabalho a frio pode transformar um pouco de austenita em martensita, isto tem um efeito na resistência à tração e, mais ainda, na resistência mecânica, por exemplo um fio 304 de alta resistência ao frio pode atingir uma resistência à tração de até cerca de 2000 MPa.

Um aço 304 altamente trabalhado também será fortemente atraído por um ímã. Grades com maiores quantidades de elementos formadores de austenita - níquel, manganês, carbono, cobre e nitrogênio - formam menos martensita quando trabalhados a frio, por isso não se tornam tão fortemente magnéticos. Isto pode ser avaliado como a razão entre os elementos antigos da austenita divididos por elementos simplesmente como a razão Ni / Cr.

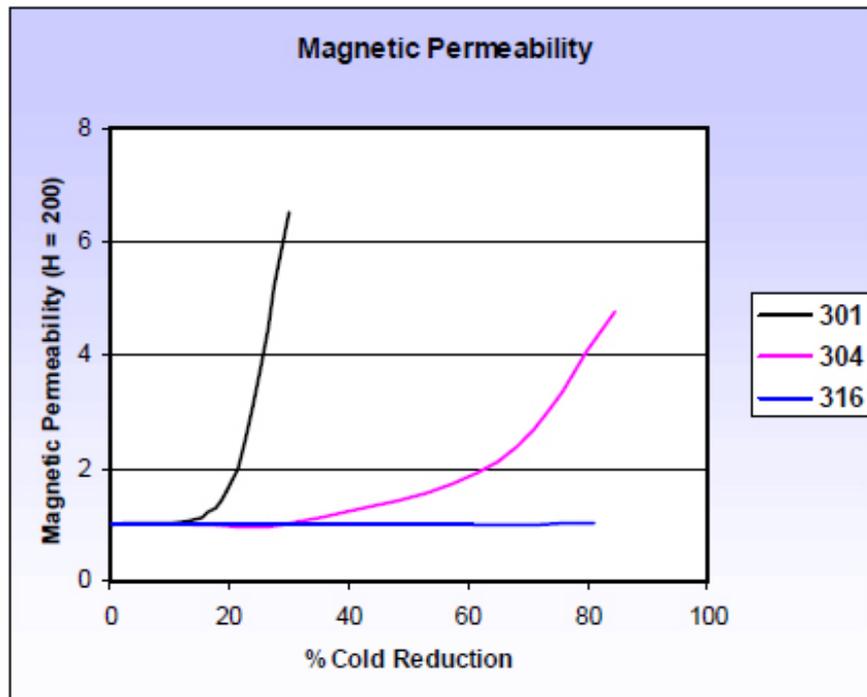
Os produtos da classe 316 geralmente só se tornam levemente magnéticos e 310 e 904L são quase totalmente não-magnéticos, não importando o grau de severidade do trabalho a frio. Por outro lado, o grau 301 tem uma quantidade menor de níquel e o trabalho endurece ainda mais rapidamente que o 304 e torna-se fortemente magnético mesmo após uma pequena quantidade de trabalho a frio.

Estas comparações são mostradas na Figura 4. Observe que os graus de deformação para mesmo tipo de aço podem exibir diferentes respostas magnéticas devido a pequenas diferenças nas quantidades de cada elemento.

Alguns tipos de aços inoxidáveis austeníticos, particularmente o 304, são em certa medida atraídos por um ímã quando é deformado a frio. Alguns tratamentos térmicos, podendo ser citada a solubilização, removerá essa resposta devido ao trabalho a frio, mas esse tratamento térmico pode sensibilizar o aço e não deve ser executado em um item que será usado posteriormente em um ambiente corrosivo.



Figura 4 – Permeabilidade magnética



Fonte: Extraído do site Kymball Physics (2019). [12]

As composições de aço inoxidável austenítico têm normalmente uma estrutura cristalográfica cúbica com a face centrada (CFC) à temperatura ambiente. Essa estrutura não é magnética porque os momentos magnéticos associados a cada átomo de ferro são dispostos em um padrão alternado que anula qualquer momento magnético final. Se o carbono é alto o suficiente, parte do material pode ser transformada da estrutura CFC para uma estrutura tetragonal (martensítica) por deformação. Neste arranjo, a simetria dos momentos magnéticos atômicos é quebrada e pode haver um campo magnético líquido. O material pode, assim, ser magnetizado, embora seja um ímã mais fraco do que um aço de variedade normal não inoxidável.

A magnetização pode ser removida com um recozimento de baixa temperatura, a 400 °C, o que relaxará as tensões internas, permitindo que o material volte

à estrutura 100% CFC. Alternativamente, você pode usar um grau de inoxidável que tem baixo teor de carbono e não sofrerá a transformação induzida por tensão para martensita.

4.8 Solubilização

A solubilização é um tratamento térmico que consiste no aquecimento até uma temperatura apropriada para o determinado material e por tempo suficiente para que ocorra a dissolução de um ou mais constituintes. Posteriormente ao aquecimento, é feito o resfriamento bastante rápido (têmpera) para evitar a precipitação. Para o caso do aço AISI 304L, esse tratamento térmico gera a formação de uma microestrutura predominantemente austenítica. Nos aços inoxidáveis, os tratamentos de solubilização têm, dentre outros, o objetivo [6] de modificar as características elétricas e magnéticas do aço.

Muito embora o tratamento de solubilização consiga reverter a martensita, para o este estudo não será aplicado, pois após o tratamento o bico, em operação, voltará a sofrer deformação e conseqüentemente formará a martensita, havendo a possibilidade de um novo acúmulo de energia estática.

4.9 Formação de martensita

A formação da martensita pode acontecer tanto por resfriamento brusco, quanto por deformação. Esta transformação de fase possui com características principais [16] a mudança de composição química e da estrutura cristalina; ocorrem sem difusão e à uma velocidade de transformação é altíssima, cerca de 106 mm/s.

A possibilidade de formação de martensita induzida por deformação a partir da estrutura CFC está ligada com a diminuição da energia de defeito de empilhamento.

Dependendo da composição química e da temperatura de deformação, o aço inoxidável austenítico está sujeito a transformação martensítica quando é deformado.

Dois tipos de martensita podem ocorrer nos AIA's. A formação de martensita ϵ , cuja estrutura cristalina é hexagonal compacta (HC), e de martensita α' , de estrutura cúbica de corpo centrada (CCC) [20]. A martensita ϵ é encontrada, inicialmente, no ferro puro em baixas temperaturas e sob alta pressão. A austenita é uma estrutura cúbica de face centrada e é determinada por uma sequência de átomos empilhados de maneira ABCABC, porém, quando este empilhamento possui uma descontinuidade na sua ordem, como do tipo AB|ABC, obtém-se, localmente, a estrutura HC, essa estrutura é chamada de ϵ [20]. Para altas deformações, a martensita ϵ pode sofrer novo cisalhamento, dando origem a uma estrutura cúbica de corpo centrada CCC, a martensita α' [7].

5. MÉTODOS

Etapa 01 – Revisão bibliográfica

Tomando como base o estudo exposto, consultaremos o livro *Welding Metallurgy and Weldability* – John C. Lippold [13], que descreve as transformações de fases que podem ocorrer nos AIA's. Além disso analisamos os tipos de AIA's e suas principais características através de imagens retiradas de análises microscópicas e das microestruturas que podem ocorrer nestes aços, através do livro *ASM Handbook: Metallurgy and Microstructures*. [21].

Também serão pesquisados artigos científicos publicados em revistas qualificadas na área do assunto em questão, para investigarmos a comprovação ou explicação de teorias sobre o assunto.

Etapa 02 – Recebimento e identificação dos materiais

Os materiais recebidos serão identificados e segregados de forma que não haja a conturbação dos mesmos, onde tal problema poderia causar o resultado não compatíveis com o estudo. Será usado marcador industrial para numerar em uma sequência previamente definida, vinculando os mesmos os documentos de qualidade e procedimentos.

Etapa 03 – Levantamento de dados

Serão verificados os documentos utilizados, como fichas técnicas dos materiais; certificado com a composição química; laudo com os resultados dos ensaios e parâmetros de utilizados na usinagem, para obter uma base de documentos que forneçam segurança as informações. Os documentos serão colhidos com os fabricantes das chapas e dos bicos de enchimento.

Etapa 04 – Execução do ensaio de magnetismo inicial

Os tarugos e os bicos enchimento recebidos deverão passar por um ensaio de magnetismo para verificar a atração direta, onde tal ensaio visa verificar, de forma simples, se inicialmente os materiais já possuem resposta magnética. Logo abaixo, a descrição do ensaio:

I – Limpeza dos tarugos, bicos e imã para evitar que qualquer corpo estanho venha interferir no ensaio;

II – Posicionamento dos tarugos de forma perpendicular ao imã, onde em seguida o imã irá varrer toda a superfície da chapa analisando sinais de atração;

III – Posicionamento do bico de forma perpendicular ao imã, onde em seguida o imã irá varrer toda a superfície da chapa analisando sinais de atração;

Os materiais devem ficar em uma superfície plana e em temperatura ambiente.

Etapa 05 – Caracterização microestrutural inicial

Como podemos observar na revisão bibliográfica algumas microestruturas dos AIA's tem um grande potencial de magnetização, assim é importante identificar tais microestruturas e as suas localizações, para assim confrontarmos com a facilidade de atração do imã com aquele constituinte e região.

Desta forma será analisada pela técnica da microscopia óptica as microestruturas presentes. Logo abaixo a descrição das atividades:

I – Cortes de partes da tarugo e bicos;

II – Lixamento das peças com as lixas de numerações 100, 120, 220, 320, 400, 600 e 1200;

III – Polimento com pano e pasta diamantada 1 μm e 3 μm ;

IV – Atacar com reagente ácido oxálico 10%, através da técnica eletrolítica com tensão de 4 volts e 90 segundos de ataque;

V – Realizar análise das microestruturas com microscópio óptico;

VI – Identificar e localizar microestruturas;

VII – Fotografar microestruturas.

Etapa 06 – Fabricação do bico de enchimento

Serão utilizados tarugos de dimensões de 3/4" de aço inoxidável austenítico AISI 304 e AISI 316 para fabricação dos bicos, onde tais tarugos serão cortados em trechos e usinados para obter o formato desejado.

Etapa 07 – Submeter os componentes a condições operacionais

Após a fabricação do bico de enchimento, o componente será submetido as condições operacionais reais, para identificar se o trabalho ao qual o bico é exposto causa modificação em sua microestrutura. O bico ficará submetido as condições de operação em um protótipo em regime de ciclos acelerados para antecipar o processo de deformação. O ciclo total será de 63.360 impactos, equivalente a seis meses de operação.

Serão realizados ensaios de magnetismo durante tal período. Logo abaixo a descrição das atividades que serão realizadas:

I – Identificação do bico de enchimento e sua localização;

II – Instalação do bico de enchimento conforme procedimento padrão;

III – Modificação de um posto de enchimento com instalação de dispositivo pneumático para simular o ciclo de operação de conexão bico-vasilhame;

IV - Realização de ensaio de magnetismo conforme etapa 04.

Etapa 08 – Caracterização microestrutural final

Neste momento o bico de enchimento novamente passará pelo ensaio de microscopia óptica, para analisar as microestruturas presentes, e defeitos resultantes para avaliarmos quais impactos o período de exposição as condições operacionais trouxeram ao material. Logo abaixo a descrição das atividades:

I – Cortes de partes da tarugo e bicos;

II – Lixamento das peças com as lixas de numerações 100, 120, 220, 320, 400, 600 e 1200;

III – Polimento com pano e pasta diamantada 1 μm e 3 μm ;

IV – Atacar com reagente ácido oxálico 10%, através da técnica eletrolítica com tensão de 4 volts e 90 segundos de ataque;

V – Realizar análise das microestruturas com microscópio óptico;

VI – Identificar e localizar microestruturas;

VII – Fotografar microestruturas.

Etapa 09 – Ensaio de dureza

Após a caracterização do material, todas as amostras foram submetidas aos ensaios de dureza Rockwell (HCB). Este ensaio pode ser utilizado como mais uma evidência da formação de martensita, uma vez que a presença de martensita eleva o grau de dureza do material

Etapa 10 – Proposta da solução

O estudo apresentará a proposta de solução para esse problema de engenharia e suas demais comprovações de segurança, através de análise de uma alternativa de material que atenda aos requisitos mínimos exigidos para a aplicação no processo de envase de GLP.

6. RESULTADOS

Neste estudo foram utilizados dois aços inoxidáveis austeníticos, pois além do aço inoxidável austenítico AISI 304, o aço inoxidável austenítico AISI 316 apresenta características mecânicas e químicas primárias adequadas para a utilização em bicos de enchimento. Desta forma, os materiais foram submetidos aos testes, ensaios e condições aplicadas descritas anteriormente. As composições dos dois aços estão descritas nos Quadros 3 e 4 abaixo.

Quadro 3 – Composição química do aço inoxidável austenítico AISI 304

C%	Mn%	Si%	Cr%	Ni%	P%	S%	Mo%	N%
0,016	1,51	0,3	18,3	8,06	0,038	0,023	0,34	0,085

Fonte: Inox Tech. Certificado de qualidade N° 240.566 [11]

Quadro 4 – Composição química do aço inoxidável austenítico AISI 316

C%	Mn%	Si%	Cr%	Ni%	P%	S%	Mo%	N PPM
0,018	1,56	0,41	16,78	10,09	0,037	0,021	2,03	800

Fonte: Grupo Aço Tubo. Certificado de conformidade N° 597357 [10]

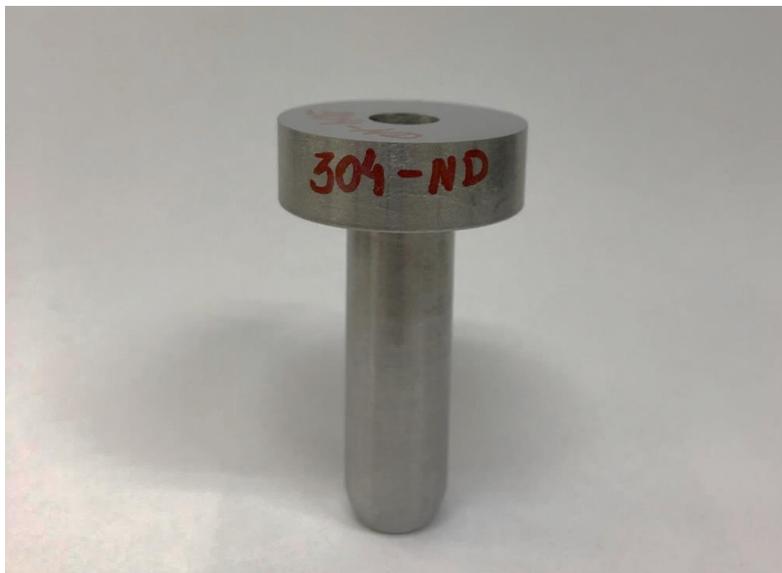
6.1 Recebimento dos materiais

O recebimento dos materiais ocorreu com a entrega dos tarugos acompanhados dos seus respectivos certificados de qualidade.

Conforme demonstrado nas imagens abaixo, os materiais foram identificados com marcador industrial de forma que não houvesse como confundir os mesmos.

O AIA AISI 304 foi identificado como 304-ND para material não deformado e 304-D para material deformado. O AIA AISI 316 foi identificado como 316-ND para material não deformado e 316-D para material deformado.

Figura 5 – Material AIA AISI 304-ND



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).



Figura 6 – Material AIA AISI 304-D



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 7 – Material AIA AISI 316-ND



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).



Figura 8 – Material AIA AISI 316-D



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

6.2 Ensaio de magnetismo

Os materiais recebidos foram testados através da aproximação de ímã para verificar a atração magnética de cada tarugo, do corpo de prova e do bico de enchimento após fabricação, como pode ser visto nas figuras abaixo. Verificamos que não houve atração magnética em nenhum dos AIA AISI analisados antes da deformação conforme ilustra as figuras 9, 10 e 11. Porém ocorreu atração magnética no AIA AISI 304 após ser deformado, conforme ilustra as figuras 12,13 e 14.

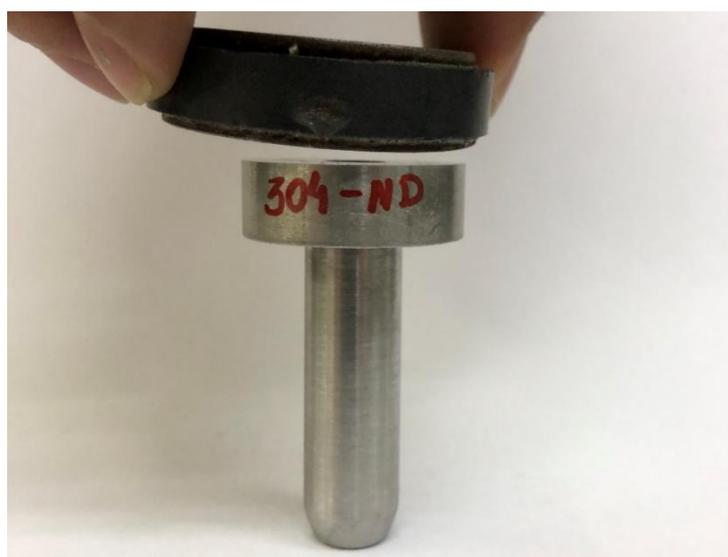


Figura 9 – Teste do bico de posto mecânico recém fabricado, antes da deformação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 10 – Teste do bico de posto eletrônico recém fabricado, antes da deformação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).



Figura 11 – Teste do material AIA AISI 316-ND, antes da deformação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 12 – Teste do material AIA AISI 304-D, após da deformação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 13 – Teste do material AIA AISI 316-D, após da deformação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 14 – Teste de componente do bico do posto mecânico fabricado em AIA AISI 304, após deformação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 15 – Teste de componente agulha do bico do posto mecânico fabricado em AIA AISI 304, após deformação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 16 – Teste do bico do posto eletrônico fabricado em AIA AISI 304, após deformação



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

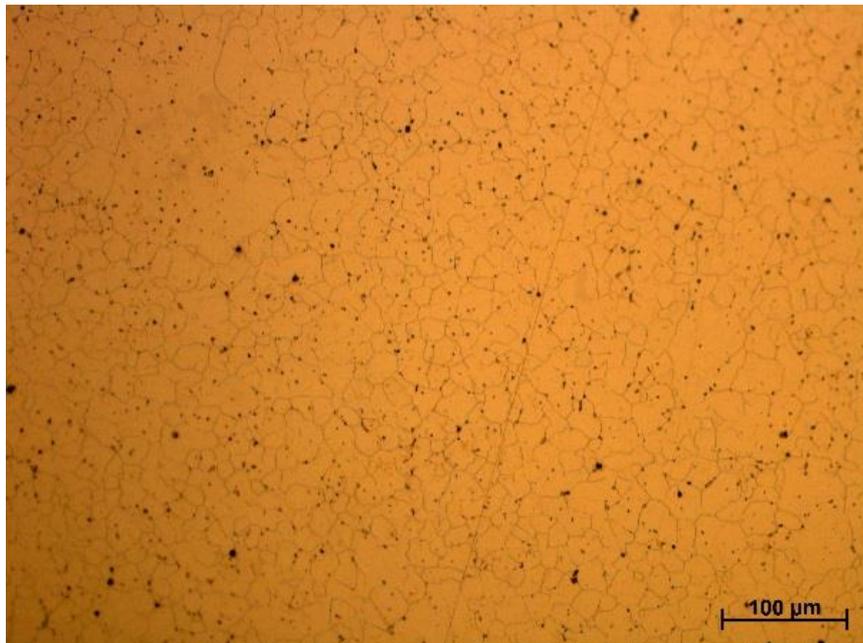
6.3 Análise microestrutural inicial

Os materiais foram conduzidos a laboratório para análise da microestrutura inicial através de microscopia óptica em um microscópio Zeiss AxioCam MRc 5.

As imagens foram registradas com aumento de 200x, 500x e 1000x para que a microestrutura fosse visualizada com maior precisão.

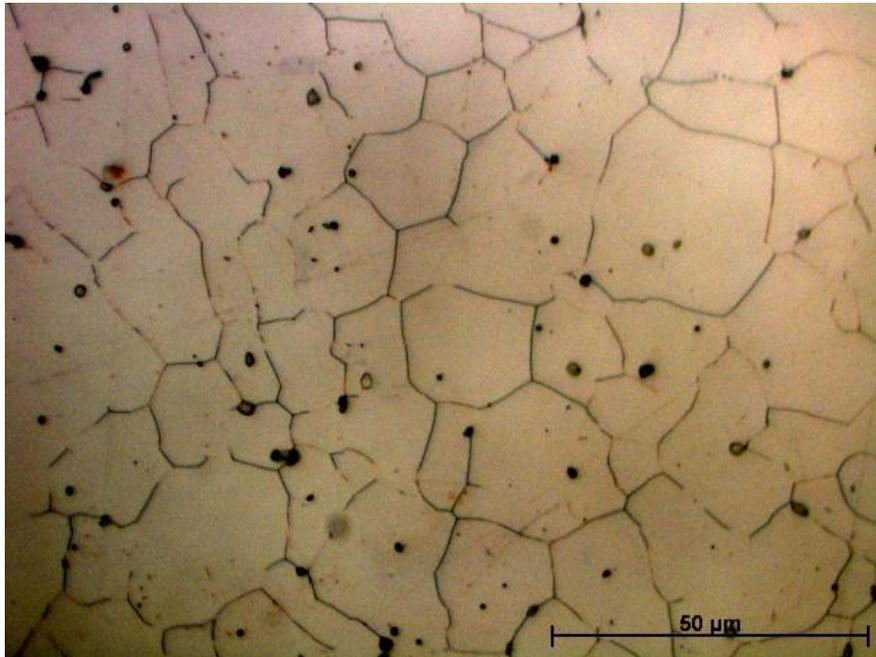
As figuras 17 e 18 constataam que não há presença de microestrutura martensítica no AIA AISI 304 analisado antes da deformação à frio. Como podemos observar, há apenas presença de grãos austeníticos com precipitado de carbeto nos contornos de grãos, ou seja, em sua microestrutura primária não ocorrerá formação de magnetismo e acúmulo de energia estática.

Figura 17 – Microscopia do AIA AISI 304 não deformado – Ampliação 500x



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

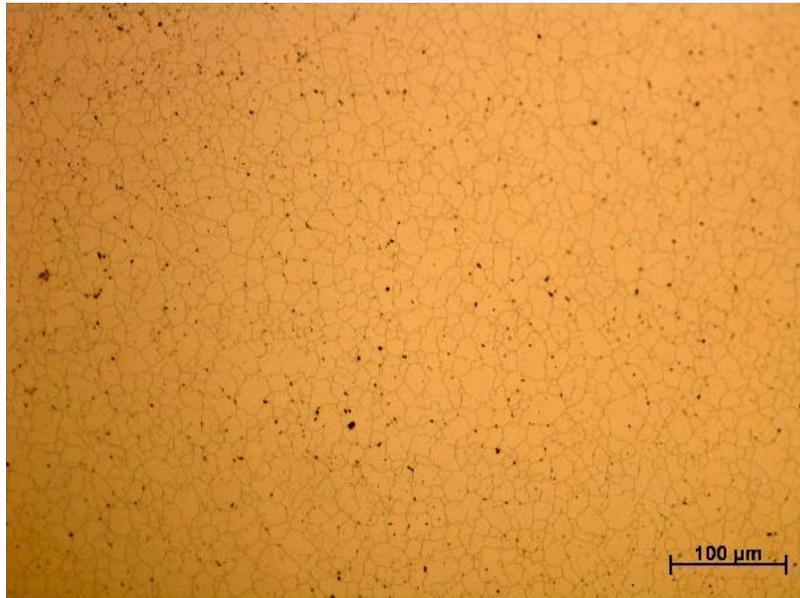
Figura 18 – Microscopia do AIA AISI 304 não deformado – Ampliação 1000x



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

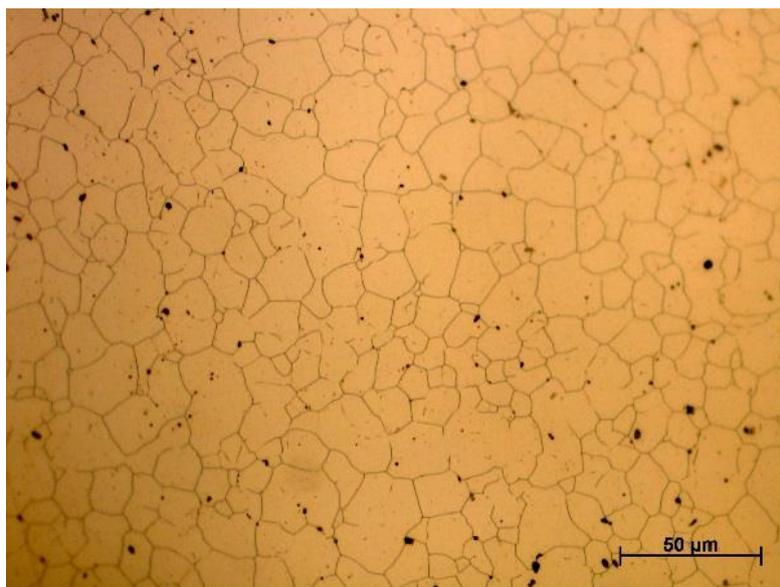
As figuras 19 e 20 constataam que não há presença de microestrutura martensítica no AIA AISI 316 analisado antes da deformação à frio. Como podemos observar, há apenas presença de grãos austeníticos com precipitado de carbeto nos contornos de grãos, ou seja, o material não apresentou uma microestrutura ferromagnética, impossibilitando o acúmulo de energia estática, tal qual no AIA AISI 304.

Figura 19 – Microscopia do AIA AISI 316 não deformado – Ampliação 500x



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 20 – Microscopia do AIA AISI 316 não deformado – Ampliação 1000x



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Quadro 5 – Comparativo entre os aços analisados

MATERIAL	ANTES DA DEFORMAÇÃO	
	MAGNETISMO	MARTENSITA
Aço inoxidável austenítico AISI 304	Não	Não
Aço inoxidável austenítico AISI 316	Não	Não

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

6.4 Simulação de operação do bico de enchimento

Após teste de atração magnética com imã, os materiais foram submetidos a teste de simulação de utilização em condições reais com o protótipo. Este processo de aceleração de desgaste submeteu os materiais a uma rotina equivalente a 06 meses de utilização em circunstâncias normais, considerando que haveria falha de conexão do mesmo, em todas as operações.

O ciclo total foi de 63.360 impactos, equivalente a seis meses de operação. Após esse ciclo foi visto que houve uma deformação.

Quando confirmada visualmente a deformação, os materiais foram submetidos a mais um teste de magnetismo com a utilização do mesmo imã e posteriormente os corpos de prova. O bico fabricado com AIA AISI 304, apresentou magnetismo no teste. Já no bico fabricado com AIA AISI 316 não houve a atração magnética.

Figura 21 – Protótipo de teste para deformação dos bicos



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 22 – Bico deformado após desgaste de utilização

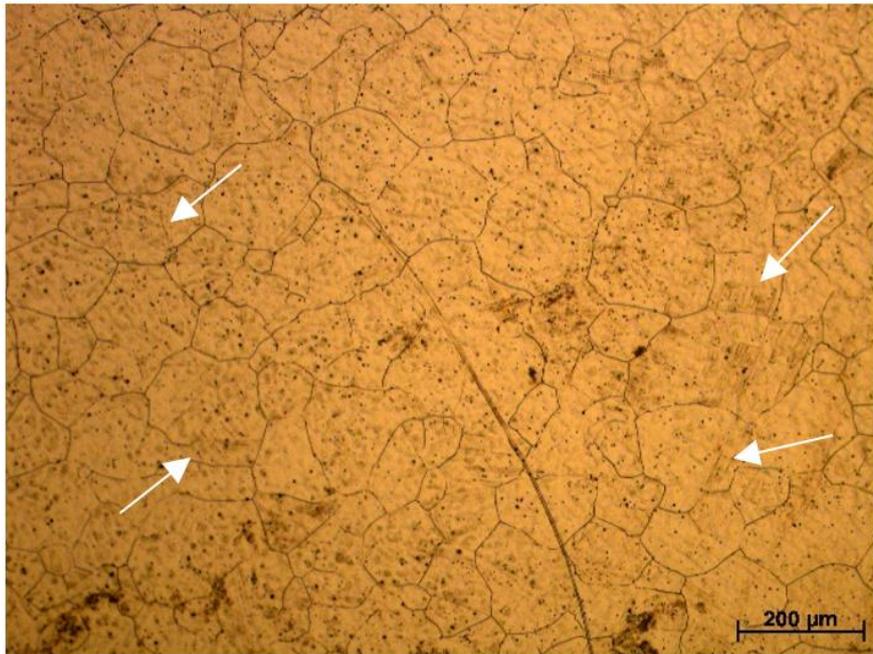


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

6.5 Análise microestrutural final

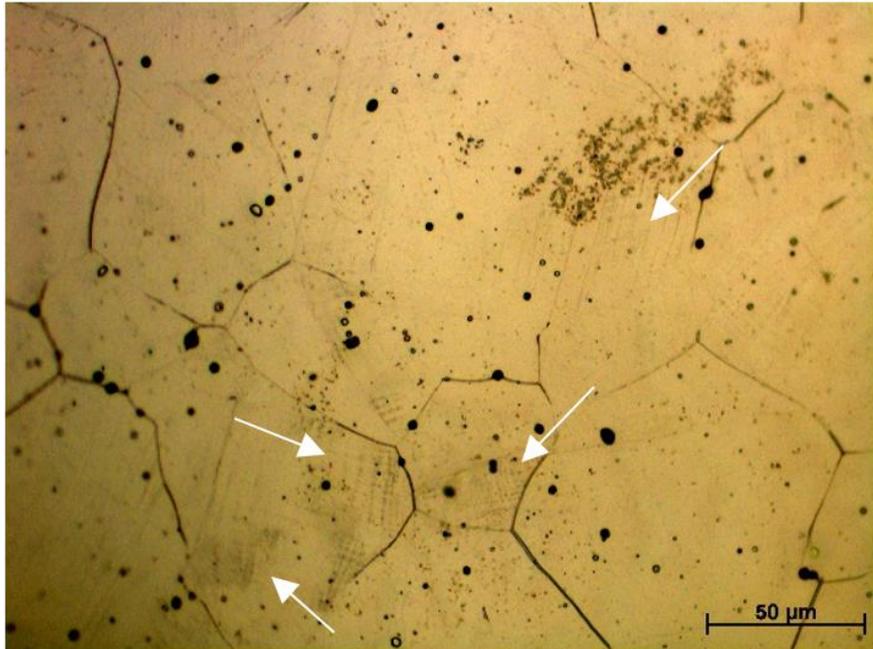
As figuras 24 e 25 constataam que há presença de microestrutura martensítica no AIA AISI 304 analisado após a deformação à frio. Como podemos observar, há presença de grãos austeníticos com precipitado de carbeto nos contornos de grão e grãos com formatos agulhados [5], o que representa microestrutura martensítica. E desta forma, o material apresentou uma microestrutura ferromagnética, possibilitando o acúmulo de energia estática.

Figura 23 – Microscopia do AIA AISI 304 deformado – Ampliação 500x



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 24 – Microscopia do AIA AISI 304 deformado – Ampliação 1000x

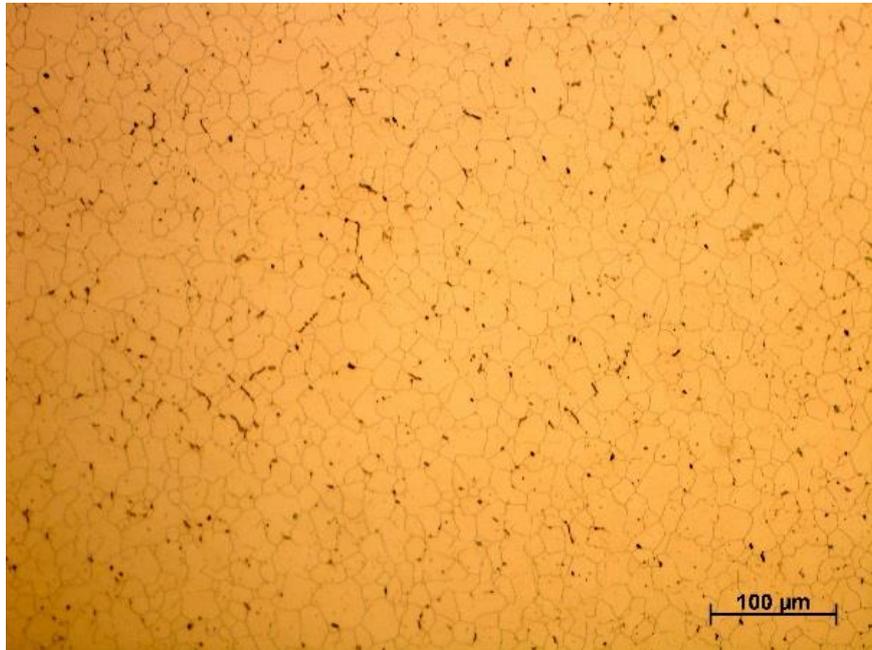


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

As figuras 25 e 26 constatarem que não há presença de microestrutura martensítica no AIA AISI 316 analisado após a deformação à frio. Como podemos observar, há apenas presença de grãos austeníticos com precipitado de carbeto nos contornos de grãos, ou seja, o material não apresentou uma microestrutura ferromagnética, impossibilitando o acúmulo de energia estática, diferente do que foi observado após a deformação do AIA AISI 304.

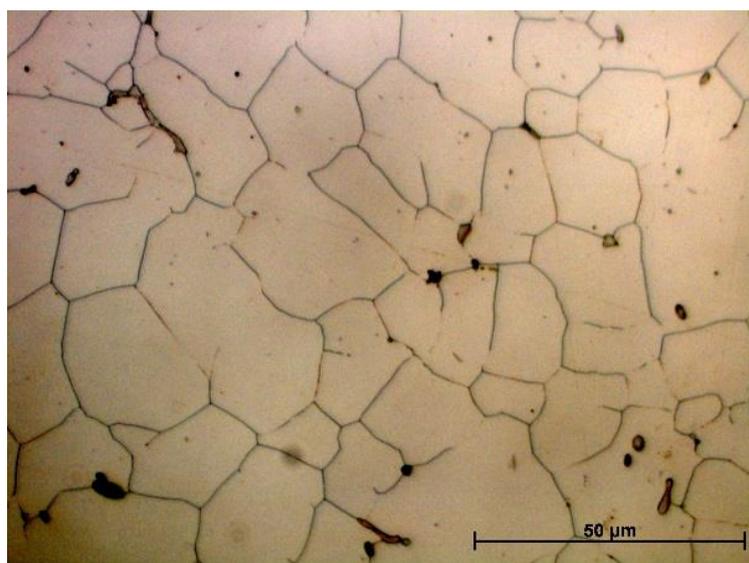


Figura 25 – Microscopia do AIA AISI 316 deformado



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 26 – Microscopia do AIA AISI 316 deformado



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Os resultados obtidos demonstram o comportamento dos dois aços inoxidáveis austeníticos após deformação a frio. É possível perceber claramente, através dos comparativos representados pelas figuras 25 e 26, a formação de martensita no AIA AISI 304 e a inexistência da mesma no AIA AISI 316 após deformação.

Quadro 6 – Comparativo entre os aços analisados

MATERIAL	APÓS DEFORMAÇÃO	
	MAGNETISMO	MARTENSITA
Aço inoxidável austenítico AISI 304	Sim	Sim
Aço inoxidável austenítico AISI 316	Não	Não

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O Quadro 7 apresenta o comparativo entre os dois aços estudados no que diz respeito ao magnetismo e à microestrutura martensítica.

Quadro 7 – Comparativo entre os aços analisados

MATERIAL	ANTES DA DEFORMAÇÃO		APÓS DEFORMAÇÃO	
	MAGNETISMO	MARTENSITA	MAGNETISMO	MARTENSITA
Aço inoxidável austenítico AISI 304	Não	Não	Sim	Sim
Aço inoxidável austenítico AISI 316	Não	Não	Não	Não

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Pesquisas para utilização de materiais alternativos aos aços inoxidáveis austeníticos no processo de envase de GLP estão em desenvolvimento na Nacional Gás, porém não foram contempladas por este estudo.

6.6 Ensaios de dureza

Foram realizados os ensaios de dureza em todas as amostras para enriquecer as evidências do surgimento da microestrutura martensítica no material. A microestrutura martensítica apresenta maior dureza em comparação a microestrutura austenítica, e assim quanto maior for o resultado da dureza maior será a possibilidade da presença de martensita nos corpos de prova.

Figura 27 - Ensaio de dureza Rockell (HCB).



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Na Quadro 8 estão dispostas as medições realizadas nas quatro amostras, onde foram feitas quatro medições e calculadas as médias das mesmas.

Quadro 8 - Medições de dureza Rockwell das amostras

DUREZA	MATERIAL			
	304-D	304-ND	316-D	316-ND
HC	112	90	106	90
HC	113	96	112	91
HC	106	95	110	91
HC	102	96	109	91
MÉDIA	108,25	94,25	109,25	90,75

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Após os ensaios percebeu-se que houve uma elevação da dureza do AISI 304 deformado em comparação ao não deformado, realçando a presença de formação de martensita. Apesar de durante a análise da microestrutura do AIA AISI 316 deformado não ter apresentado a presença de microestrutura martensítica, houve uma elevação do grau de dureza da amostra em comparação ao material não deformado, o que abre uma possibilidade para um estudo futuro sobre os motivos da diferença de dureza mesmo sem a evidência de presença de martensita.

7. CONCLUSÃO

É de suma importância que no processo de envase não ocorra risco de formação de qualquer ponto de ignição e toda e qualquer situação que possa causar tal evento, deve ser removida.

É de conhecimento geral, que o processo de conexão do bico com a válvula, nem sempre ocorre de forma precisa, mesmo em sistemas com centralização automática.

Diante do que foi apresentado e confirmado através de ensaios, apesar do AIA AISI 304 possuir boas características mecânicas e químicas, a deformação sofrida no processo de envase de vasilhames acarretará a formação de martensita, gerando magnetismo e conseqüentemente podendo ocasionar o acúmulo de energia estática. Portanto, qualquer componente fabricado com este material e que venha a sofrer deformação a frio, poderá ser um risco na operação com fluidos inflamáveis.

Desta forma, esta condição que é adquirida através da conformação mecânica, compromete diretamente a segurança dos terminais de envase, uma vez que o processo de magnetização do material normalmente não é percebido e analisado de forma rigorosa.

Foi levantada a possibilidade de tratamento térmico específico para reversão de martensita, porém, se considerarmos que o mesmo material tratado será novamente submetido à deformação no processo de envase, poderá ocorrer formação de martensita novamente. Desta forma, para este estudo, o tratamento térmico para reversão de martensita foi descartado.

O aço inoxidável austenítico AISI 316 se apresenta como uma solução plausível para resolução do problema encontrado, tendo em vista que não apresentou formação de martensita e nenhuma outra microestrutura ferromagnética e, por conseguinte, os componentes fabricados com este material, mesmo que sofram deformação a frio, não serão um ponto de acúmulo de energia estática.

É importante que a fabricação dos bicos de enchimento para fluidos inflamáveis seja realizada com materiais que não possuam características ferromagnéticas e que não estejam sujeitos a transformações microestruturais de forma que estas ocasionem risco.

NACIONALGÁS 

BRASILGÁS 

PARAGÁS 



Como demonstra o estudo, o material aço inoxidável austenítico AISI 316 deve ser utilizado em substituição ao aço inoxidável austenítico AISI 304 para fabricação de bicos de enchimento e qualquer outro componente que esteja sujeito à operação em atmosferas explosivas.

REFERÊNCIAS

- [1] ALLAN, G.K. Solidification of austenitic stainless steels. **Ironmaking and Steelmaking**, vol. 22, p.465-477, 1995.
- [2] ASM Speciality Handbook: Stainless Steels. Ed. by DAVIS, J.R. Metals Park, Ohio: **ASM International**, 1994. vol. 1, 577P.
- [3] BELGIAN. INTERNATIONAL STAINLESS STEEL FORUM. (Org.). The Ferritic Solution. **Issf**, Brussels, p.27-39, abr. 2007
- [4] BROOKS, J.A.; LIPPOLD, J.C. Selection of wrought austenitic stainless steel . In: ASM Handbook. Metals Park, Ohio; **ASM International**, 1993. vol. 1, p. 456-470, 1993.
- [5] CALLISTER, Jr.; RETHWISCH, G. David. **Ciência e engenharia dos materiais – Uma introdução**: 9. ed. São Paulo: Editora gen, 2016.
- [6] CHIAVERINI, V. Aços e ferros fundidos. São Paulo, **Associação Brasileira de Metais**, São Paulo, 1982.
- [7] CHOI, J.Y., JIN, W., “Strain induced martensite formation and its effect on strain hardening behavior in the cold drawn 304 austenitic stainless steels”, **Scripta Materialia**, vol. 36, p. 94-104, 1997.
- [8] CLARET, R., Aços Inoxidáveis Ferríticos e Martensíticos. **Seminário Inox 2000, ACESITA**, 2000.
- [9] CUNHA, M.A.: **Efeito de uma normalização na evolução da textura e no enrugamento do aço inoxidável AISI 430**, Dissertação de Mestrado, Belo Horizonte; UFMG; 1978.
- [10] EDUARDO ONO (Brasil). Grupo Aço Tubo. **Certificado de conformidade**. 597357. ed. Guarulhos: Grupo Aço Tubo, 2019.
- [11] INOX TECH (Brasil). Grupo Feital. **Certificado de Qualidade**. 240.566 Ribeirão Pires: Inox Tech, 2019.
- [12] KYMBALL PHYSICS. **Magnetic Response of Stainless Steels**. Disponível em <https://www.kimballphysics.com/magnetic-response-of-stainless-steels>. Acesso em 20 de agosto 2019.

- [13] LIPPOLD, John C. **Welding Metallurgy and Weldability: 1.** ed. Nova Jersey: Editora WILEY, 2014.
- [14] MORAES, J.M. Aços Inoxidáveis Austeníticos. **Seminário Inox 2000**, ACESITA, 2000.
- [15] PADILHA, A.F.; GUEDES, L. C. **Aços inoxidáveis austeníticos**, Editora Hemus, São Paul, p.11-16, 1994.
- [16] RIOS, P.R.; PADILHA, A.F.. Capítulo 7: Transformação martensítica. In: **Transformações de fase**. São Paulo, SP: Artliber Editora, p. 189-204, 2007.
- [17] SAKAI, T . and JONAS, J.J **Dynamic recrystallization mechanical and microestrutural considerations**. Acta Metal, vol. 32, p. 189-209, 1984.
- [18] SOUZA, S.A., **Ensaio Mecânicos de materiais metálicos – Fundamentos Teóricos e Práticos** – 5ª edição – Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1982.
- [19] SCHRAMM, R.E.; REED, R.P. Stacking fault energies of seven commercial austenitic stainless steels. **Metallurgical Transactions A**, vol. 6A, p. 1345-1351, 1975.
- [20] TALONEN, J., NENONEN, P., PAPE, G., HÄNNINEN, H., “Effect of strain rate on the strain-induced $\gamma \rightarrow \alpha'$ -martensite transformation and mechanical properties of austenitic stainless steel”, **Metallurgical and Materials Transactions A**, vol. 36, p. 421-432, 2005.
- [21] VANDER VOORT, GEORGE F. **ASM Handbook Volume 9: Metallography And Microstructures**. ASM International, 2004.