

Copyright 2012, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2012, em Salvador/BA no mês de maio de 2012.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Seleção de materiais para plantas de produção de ureia

Vanessa F. M. de Queiroz^a, Annelise Zeemann^b

Abstract

Urea unities, in nitrogen base fertilizers plants, present NH_3 and CO_2 reactions that generate highly aggressive products and byproducts, requiring good material specifications and corrosion resistant alloys for equipment and piping. Since the processes conditions of temperature, pressure and fluid composition vary a lot, the material specification for different regions may vary from ordinary carbon steel to hyperduplex stainless steel (29%Cr), and also cladding components.

This work presents, for a urea plant, a material selection diagram (MSD) indicating the piping regions where the damage mechanisms are active (mainly associated to corrosion) and what was the adopted principles for material selection philosophy. Ordinary carbon steel, basic 18Cr8Ni stainless steel (304), Mo alloyed stainless steel (316 urea grade), superduplex and hyperduplex stainless steels are selected. The hyperduplex is recommended for the most aggressive environment (rich in amonium carbamate) due to the highly stable passive layer. The equipment material selection is more complex than the selection for piping and this matter will not be treated here.

Keywords: Material Selection, Urea, Nitrogen fertilizers, Corrosion.

Resumo

Plantas de ureia, em fábricas de fertilizantes nitrogenados, incluem em seu processo reações de NH_3 e CO_2 gerando produtos e subprodutos de alta agressividade aos materiais metálicos, exigindo em projeto especificações para equipamentos e tubulações em ligas resistentes à corrosão. Como as condições de temperatura, pressão e composição de fluidos varia muito, a seleção de materiais pode indicar, para diferentes pontos, desde aços ao carbono até aços inoxidáveis hiperduplex (29%Cr) e ainda bimetálicos (cladeados).

Este trabalho apresenta, para uma planta de ureia, um diagrama de seleção de materiais identificando as regiões que apresentam diferentes mecanismos de formação de danos (basicamente por corrosão) e qual a filosofia de seleção de materiais adotada para tubulações. São utilizados aços ao carbono, aços inoxidáveis austeníticos de composição básica 18Cr8Ni (AISI 304); aços austeníticos com Mo tipo 316 modificados (grade 316 urea); aços inoxidáveis superduplex (25% de cromo); e aços inoxidáveis hiperduplex (29% de cromo). O hiperduplex é recomendado na etapa de síntese por seu alto teor de cromo facilitar a formação de uma película protetora íntegra e muito estável. Nas demais etapas, a seleção de materiais menos nobres depende da concentração de carbamato de amônia.

A seleção de materiais para equipamentos é mais complexa e não será abordada neste trabalho, pois não depende apenas da resistência à corrosão, sendo determinada principalmente pela função, no equipamento, do componente que se deseja especificar,

Palavras-chave: Seleção de Materiais, Ureia, Fertilizantes Nitrogenados, Corrosão.

^a Engenheira de Materiais - Chemtech Serviços de Engenharia e Software Ltda

^b D.Sc., Consultora de Materiais - Chemtech Serviços de Engenharia e Software Ltda

Introdução

A seleção de materiais no projeto de uma planta química é uma atividade multidisciplinar que, além de envolver conhecimentos de diferentes áreas, exige experiência em práticas fabris e controle de qualidade dos materiais envolvidos. O projeto mecânico dimensiona os equipamentos e linhas, utilizando as tensões admissíveis dos materiais, com base nas condições de temperatura e pressão; e a necessidade de adotar ligas resistentes à degradação depende dos processos físicos e químicos envolvidos, onde os produtos e subprodutos gerados são de natureza variada e as composições dos fluidos e temperaturas são determinantes do tipo de degradação.

As plantas de ureia, objeto deste trabalho, existem em fábricas de fertilizantes nitrogenados, e a compreensão dos processos químicos envolvidos é fundamental para uma correta seleção e especificação dos materiais.

Fertilizantes são compostos que contêm nutrientes essenciais para o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Em geral, os fertilizantes são responsáveis por cerca de um terço da produção agrícola e o seu uso, de forma adequada, se tornou ferramenta indispensável na luta mundial de combate à fome e subnutrição [1].

O Brasil possui um enorme potencial para aumentar a sua produção agrícola, seja pela expansão da área plantada, seja pelo aumento de produtividade, contribuindo não somente para uma maior oferta de alimentos no contexto mundial, mas, também, para atender a crescente demanda interna de sua população [1].

Devido à natureza das reações químicas na produção da ureia, alguns compostos se tornam muito agressivos e as taxas de corrosão para tubulações de aço ao carbono podem inviabilizar seu uso em processos onde as temperaturas e pressões são mais elevadas e onde existe a presença de carbamato de amônia ou a própria ureia.

A proposta deste trabalho é realizar a seleção de materiais de tubulação para uma planta de produção de ureia, onde se utilizam aços com características particulares em diferentes etapas do processo.

São descritos alguns materiais em termos de propriedades, composição química e custo; de forma que se possam entender os princípios de seleção. O Diagrama de Seleção de Materiais (MSD – *Materials Selection Diagram*), montado seguindo os critérios da Norma NACE SP0407-2007 [2], permite ter uma visão da filosofia de seleção adotada.

Seleção de Materiais de Tubulação

A seleção do material de construção para um equipamento, um componente ou uma tubulação em uma planta de processo é extremamente importante, pois, através do uso de um material adequado, é possível assegurar, durante a vida útil deste componente, o pleno desempenho em serviço previsto pelo projeto.

O primeiro passo na seleção de um material envolve, portanto, conhecer e entender as funções do componente e qual seria o desempenho esperado frente a solicitações, para um tempo de vida útil satisfatório. A partir destas informações, é possível estabelecer requisitos de propriedades como resistência mecânica, tenacidade, resistência à corrosão e resistência ao desgaste, entre outras.

No caso de tubulações de plantas de processo, onde a função básica é a condução dos fluidos, a temperatura, a pressão e a velocidade do fluido são as principais condições a serem analisadas [3] [4], e o que se espera é que o material apresente compatibilidade com o fluido e sua perda por corrosão seja baixa ou controlada, fazendo com que, ao final da vida útil, a espessura calculada para resistir à pressão (na temperatura) ainda seja atendida.

Especialmente quando se requer resistência à corrosão não basta apenas selecionar uma liga com características químicas de resistência à corrosão. Deve-se também especificar características fabris, relacionadas à confecção dos componentes (tubos, curvas, conexões) e sua montagem (principalmente soldagem), e apresentar formas de testar que a propriedade não seja perdida. E mesmo em situações onde o uso de um material melhor resultaria em maior custo de aquisição e instalação, o custo em longo prazo pode ser menor devido à possibilidade de se utilizar condições de serviço que resultem em maior eficiência do processo, aumentar o tempo de vida útil em serviço e diminuir o custo de manutenção [3].

A relação custo benefício do uso de materiais nobres requer muitas vezes considerações sobre formas de controle de corrosão durante a operação e existem diversos métodos de avaliação destes custos. Um deles é o custo de ciclo de vida, LCC (Life Cycle Cost), um conceito incorporado à seleção de material em projeto, que considera não somente o custo de aquisição, mas também os custos de fabricação, de inspeção, manutenção e reposição ao longo da vida útil do equipamento, e estes custos podem até mesmo depender do local de instalação e da qualificação de mão-de-obra de inspeção. São também considerados na avaliação do LCC perdas e emissões, produtividade e tempo de vida em serviço [3]. Nem sempre é fácil um projetista adotar o conceito de LCC para a seleção do material.

Os aços, ligas ferrosas, têm menor custo do que as ligas não ferrosas mais resistentes à corrosão, como ligas de níquel (Ni) e de titânio (Ti). Entre os aços, aqueles que não possuem elementos de liga são os de menor custo e, quanto maior a quantidade de elementos de liga, principalmente Cr, Ni, e Mo, maior o custo de aquisição.

A Tabela 1 apresenta um comparativo de custo entre ligas ferrosas e não ferrosas.

Tabela 1 - Comparativo de custo entre ligas ferrosas e não ferrosas [5]

Material	Custo Comparativo (volume)
Aço Carbono	1
AISI 304	11
AISI 316	45
Ligas de Ti	28
Ligas de Ni	51

A resistência de um material ao meio depende muito do tipo de efeito que o meio causa no material. Quando o efeito é de corrosão generalizada, uniforme, mais comum em aço ao carbono, a adoção de uma sobre-espessura de corrosão pode ser suficiente. No entanto, neste caso, a monitoração da taxa de corrosão deve ser frequente e o LCC para um material com taxa superior a 20 *mpy* (milésimo de polegada de penetração por ano) pode ser bem elevado, maior do que seria caso fosse selecionada uma liga mais nobre.

A seleção em projeto de uma liga mais nobre, como um aço inoxidável ou uma liga não ferrosa, com taxa de corrosão igual a zero, pode parecer necessária, mas devem-se adotar cuidados para que não seja inadequada, pois existem características do meio que tornam os materiais suscetíveis à corrosão localizada, como a presença de contaminantes que causam corrosão por pites ou corrosão sob tensão; ou caso a especificação do material não preveja os possíveis problemas de matéria-prima e fabricação, pois materiais mais nobres exigem processos fabris mais controlados.

A seleção e a especificação de materiais de tubulação envolvem, portanto, análise de diversas questões ligadas às condições de serviço: fluido conduzido, nível de tensões no material, natureza dos esforços mecânicos, sistemas de ligações, velocidade do fluido, perdas de carga; além de tempo de vida previsto, segurança, disponibilidade e custo dos materiais [6].

Além disso, cada material de uma planta de processo está relacionado a uma condição específica de temperatura, pressão e meio do processo, devendo ser consideradas as entradas e saídas dos equipamentos (aquecedores, resfriadores, reatores, compressores, entre outros) e principais transformações. Estas informações podem ser mais bem visualizadas no fluxograma do processo. Assim, conhecendo as características específicas e os mecanismos de degradação tipicamente verificados ponto a ponto, é possível selecionar uma liga que seja resistente àquela condição. O diagrama que permite esta visualização e define regiões de degradação é conhecido como MSD (Diagrama de Seleção de Materiais) e a definição das ligas resistentes a cada condição de uso se caracteriza como a Filosofia de Seleção de Materiais.

O material mais adequado, para cada serviço, é aquele que atende às características do projeto com menor custo possível, sempre que possível considerando o LCC [7].

Filosofia de Seleção de Materiais para Tubulações

A filosofia de seleção de materiais consiste em definir o tipo de material e sua sobre-espessura de corrosão dando limites de uso, meio e temperatura, a partir do conhecimento sobre o tipo específico de degradação, que está associado ao meio [7].

A sobre-espessura de corrosão é uma parede de espessura extra. Depende do meio em que o material será utilizado e é calculada a partir da taxa de corrosão e do tempo de vida útil esperado. Ou seja, após determinar a espessura de parede que atende aos requisitos mecânicos, pressão, temperatura, peso, uma espessura extra, chamada de corrosão admissível, é adicionada para compensar a perda de material durante o tempo de vida [3].

Sabe-se que até 10 *mpy*, a taxa de corrosão é insignificante, ou seja, os materiais não sofrem alteração dimensional significativa durante o tempo de vida útil; até 20 *mpy*, a taxa de corrosão é baixa, materiais com esta taxa de corrosão podem, normalmente, ser especificados com corrosão admissível de 1,5-3,0 mm; até 50 *mpy*, a taxa de corrosão é média, exigindo materiais com corrosão admissível de 6,0 mm; já acima de 50 *mpy*, a taxa de corrosão é considerada muito elevada, materiais com esta taxa de corrosão requerem alta corrosão admissível a ser acrescentada para assegurar um tempo de serviço aceitável. Geralmente, estes materiais são inadequados para construção de plantas de processo.

Diagrama de Seleção de Materiais (MSD)

Um MSD inclui as informações de projeto de materiais no que diz respeito a equipamentos, componentes de tubulação e dados de processo, sendo uma forma de visualizar regiões que podem estar sujeitas a degradação.

Quanto a equipamentos e componentes de tubulação, as seguintes informações devem estar presentes no MSD [2] sempre que disponíveis:

- Materiais de construção para componentes e tubos;
- Pontos de injeção, mistura e adição química;
- Corrosão admissível;
- Ligas resistentes à corrosão para revestimento ou solda com espessura requerida;
- Revestimento para condições internas de corrosão;
- Seleção especial de materiais, prevenção à corrosão, inspeção ou testes requeridos;

- Equipamentos pré-fabricados podem ser especificados por “Norma do Fabricante”. A norma do fabricante deve ser adequada aos requisitos mínimos do serviço em que irá operar.

Quanto aos dados de processo, as seguintes informações podem ser inseridas no MSD para facilitar a visualização, caso estejam presentes no sistema e disponíveis em projeto [2]:

- Temperatura de operação;
- Pressão de operação;
- Pressão parcial de hidrogênio;
- Temperatura mínima suportada pelo material;
- Concentração de H₂S;
- Concentração de enxofre;
- Concentração de água livre;
- Concentração de amônia;
- Número de neutralização;
- Concentração de cloretos;
- pH;
- Velocidade de corrosão crítica;
- Contaminantes significantes;
- Condições de operação que podem afetar a seleção de materiais.

Processo Produção de Ureia

No processo de produção de ureia, as principais etapas são: compressão de dióxido de carbono; remoção de hidrogênio; bombeamento de amônia; síntese da ureia; recirculação, evaporação dos subprodutos ainda presentes na solução de ureia após a síntese; dessorção e hidrólise, também com o objetivo de eliminar os subprodutos da síntese [8].

A Figura 1 apresenta o fluxograma simplificado com todas as etapas de uma unidade de produção de ureia, onde também é produzida amônia, e a Figura 2 apresenta o processo de síntese de ureia, descrito a seguir.

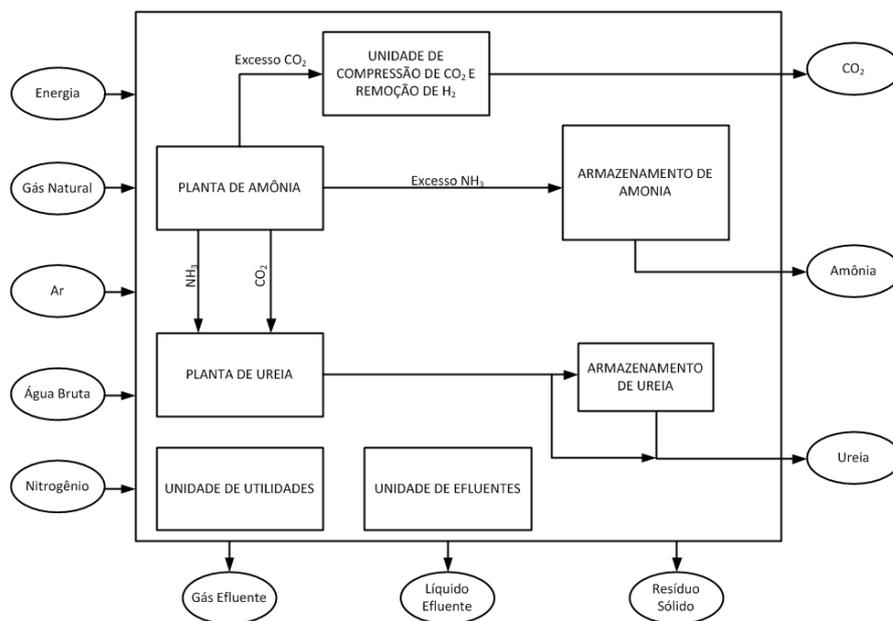


Figura 1 - Etapas de uma planta de produção de ureia [9]

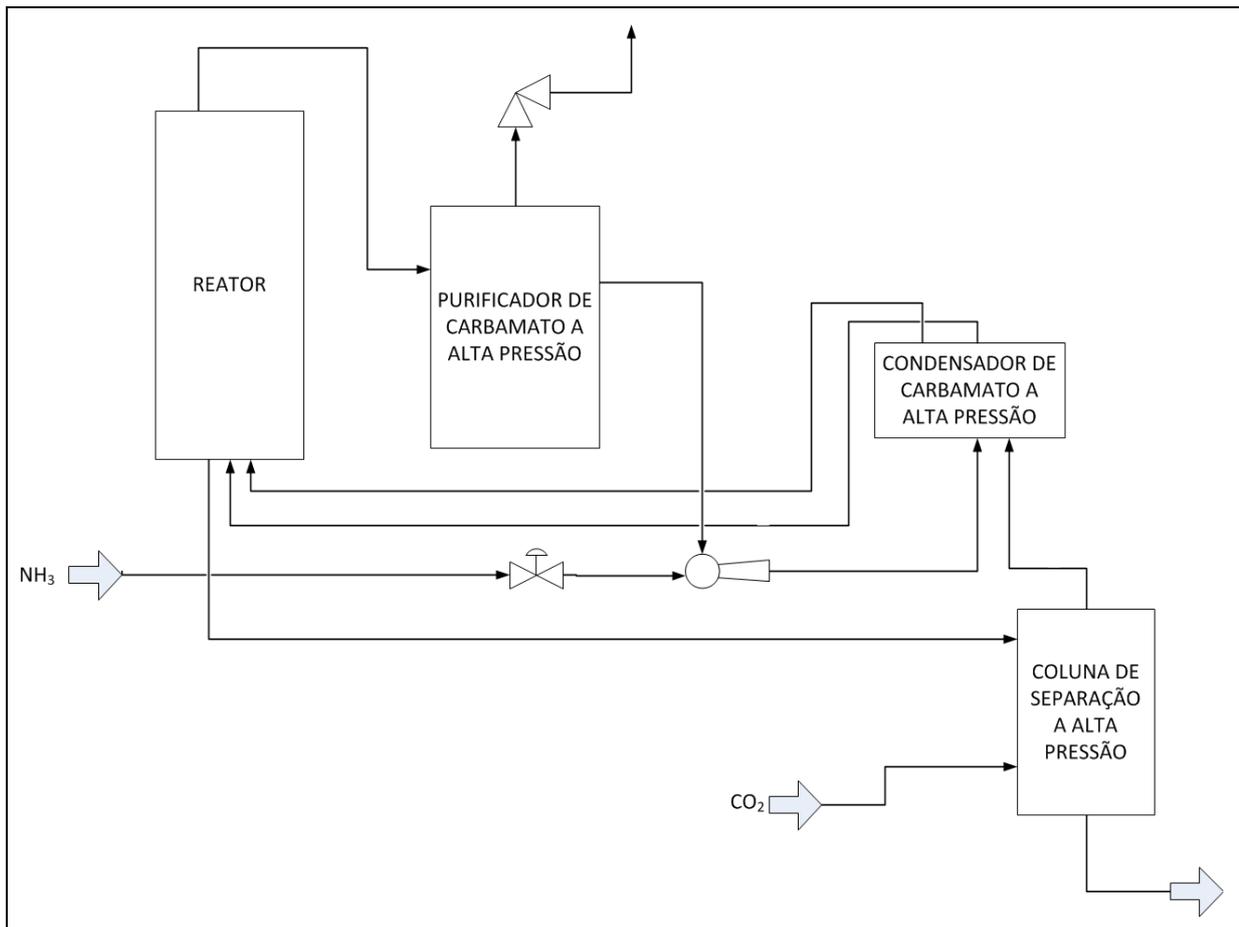


Figura 2 - Fluxograma - Processo de síntese de ureia [10]

Síntese da ureia e separação dos compostos

Ureia é produzida no condensador de carbamato e no reator a partir de amônia líquida e do CO₂ de acordo com as seguintes reações [9][11]:



A reação (1), envolvendo formação de carbamato de amônia, é rápida e exotérmica. A reação (2), em que ocorre a desidratação do carbamato em ureia, é lenta e endotérmica [9][11].

As condições de síntese são:

Pressão: 1,4 MPa

Temperatura: 184,5°C

O reator possui cinco peneiras de alta resistência, cuja função é garantir uma boa mistura dos reagentes [9][11].

O fluido que deixa o reator é composto por ureia, H₂O, carbamato e excesso de amônia, que não reagiu completamente. Esta mistura é processada no HP Stripper (*High Pressure Stripper*), que se trata de uma fracionadora, trabalhando a alta pressão, com a função de separar os subprodutos do processo de síntese; e se divide em [9][11]:

- Carbamato e excesso de amônia, que serão reciclados para o reator através do condensador de carbamato;
- Solução de ureia, que será processada para chegar às condições finais desejadas.

Uma primeira separação desta solução de ureia é realizada no CO₂ Stripper, um trocador de calor do tipo casco e tubo. Nesta etapa, a solução é aquecida e entra em contato com o CO₂, onde a solução escoia, por dentro dos tubos, para a parte de baixo do trocador de calor e o CO₂ escoia, contra a corrente, para a parte de cima [9][11].

Durante esta etapa, ocorrem as seguintes reações:

- Quase completa dissociação do carbamato em CO₂ e NH₃, ou seja, o reverso da reação (1);
- Dessorção e evaporação do CO₂ e NH₃ desta dissociação, evaporação de excesso de NH₃, assim como de H₂O, da solução. Esta mistura de vapor e o CO₂, proveniente do compressor, deixa a parte de cima do HP Stripper a aproximadamente 187,4°C;
- Uma solução de ureia contendo uma pequena quantidade de carbamato não dissociado deixa a parte de baixo do HP Stripper a aproximadamente 172,3°C.

A solução de ureia que deixa o HP Stripper segue para a recirculação e purificação, enquanto os gases, CO₂, NH₃ e H₂O, são enviados para o condensador de carbamato a alta pressão [9][11].

No condensador, estes gases se juntam ao NH₃ e à solução de carbamato, alimentados a partir da etapa de bombeamento de amônia, ocorrendo a formação de 60% do total de ureia [9][11].

A mistura contendo ureia, solução de carbamato, amônia não condensada e dióxido de carbono é, conseqüentemente, introduzida no reator, onde o carbamato é convertido em ureia. Em seguida, esta solução líquida segue para o HP Stripper. Os gases inertes, introduzidos junto com o CO₂, parte do NH₃, que não reagiu na formação da ureia, e CO₂ seguem para o HP Scrubber, onde ocorre a formação de carbamato [9] [11].

Os gases que não reagiram no HP Scrubber, sendo eles nitrogênio, oxigênio e pequenas quantidades de amônia e dióxido de carbono, são enviados para outra etapa do processo, onde serão reciclados [9][11].

Seleção de Materiais para Plantas de Produção de Ureia

O material de construção de uma planta de ureia afeta diretamente a confiabilidade, operabilidade, manutenção e seu desempenho durante o ciclo de vida.

Diversos são os fatores que influenciam na seleção de um material. De uma forma geral, deve-se buscar avaliar as solicitações e condições do meio (temperatura e pressão de operação, oxigênio dissolvido e composição do fluido) e definir as características desejáveis ao material (resistência à corrosão, propriedades mecânicas, soldabilidade), buscando sempre o menor custo.

O processo de produção de ureia, a partir da amônia e dióxido de carbono, envolve elevadas pressões e temperaturas e, além do carbamato de amônia, alguns subprodutos do processo, amônia e dióxido de carbono, sob condições de condensação, aumentam a agressividade [12]. A quantidade de carbamato, a relação amônia/dióxido de carbono, temperatura, pressão e quantidade de oxigênio presente na solução, são determinantes no processo corrosivo.

Os materiais utilizados em plantas de produção variam desde o aço carbono até ligas especiais. São os aços inoxidáveis austeníticos de composição básica 18Cr8Ni (tipo AISI 304); aços inoxidáveis austeníticos com Mo (tipo AISI 316); o mesmo grau 316 específico para plantas de ureia (316 grau de ureia); aços inoxidáveis superduplex (25%Cr) e hiperduplex (29%Cr). Em algumas situações, onde são necessárias condições de alta resistência mecânica e alta resistência à corrosão em alta temperatura, propriedades que nem sempre são compatíveis, para evitar espessuras exageradas, podem ser utilizados materiais cladeados, onde o substrato é de baixa liga e mais alta resistência e o clading é de aço inoxidável e mais resistente à corrosão.

MSD

A Figura 4 e a Figura 5 apresentam MSDs elaborados para uma planta de produção de ureia, onde, no fluxograma simplificado do processo, são colocadas as condições de temperatura (triângulo) e pressão (elipse); as regiões onde existe alta concentração de agentes corrosivos (hachurado), basicamente o carbamato de amônia; e as posições onde os diferentes tipos de materiais são aplicados (linhas tracejadas e com diferentes cores).

Entre as etapas do processo, a de menor corrosividade, que utiliza o aço carbono, é a de bombeamento de amônia. O aço inoxidável tipo AISI 304 é utilizado em etapas de maior pressão como a compressão de dióxido de carbono e a remoção de hidrogênio. Para as etapas em que há a presença de carbamato de amônia, um subproduto do processo altamente corrosivo, mas com baixa concentração e baixas temperatura e pressão, utiliza-se o aço inoxidável austenítico tipo AISI 316 grau de ureia; o aço inoxidável superduplex é utilizado em regiões onde há uma concentração de carbamato de amônia um pouco maior, ainda que com temperatura e pressão não tão elevadas.

Sem dúvida, a etapa de maior corrosividade é a de síntese de ureia, que utiliza aços inoxidáveis hiperduplex devido à alta concentração de carbamato de amônia e às altas temperaturas e pressões impostas.

Alguns equipamentos utilizados na síntese da ureia (reatores a alta pressão entre outros) consistem de uma parede de aço carbono, que tem a função de resistir mecanicamente às altas pressões impostas pelo processo, e uma camada de revestimento protetor inoxidável (Figura 3) [12]. No entanto, os princípios de seleção de materiais para equipamentos são mais complexos e não fazem parte do escopo deste trabalho.

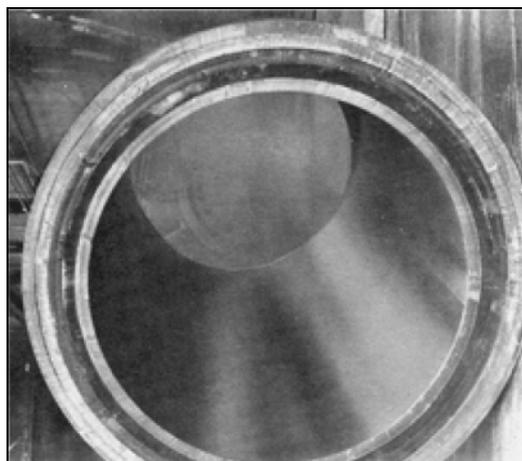


Figura 3 - Parede multicamadas de aço carbono com camada de revestimento protetor [12]

No processo de produção de ureia, a ureia em si não é corrosiva. É o seu produto intermediário, o carbamato de amônia, que é altamente corrosivo. O aço utilizado deve estar num estado de corrosão passivo e a adição contínua de oxigênio no processo é de extrema importância na passivação do aço [13]. No entanto, quando ocorre a condensação dos gases, uma fase de carbamato líquido se forma, sem a presença de oxigênio. Devido a esta falta de oxigênio, a camada de passivação do revestimento não é mantida, e então se inicia a corrosão ativa do revestimento, entretanto na forma de pites [13][14][15].

Assim, as áreas a alta pressão em equipamentos onde uma fase gasosa está presente durante operação são críticas para este tipo de corrosão, exigindo um bom isolamento.

Nas linhas que interligam os equipamentos, os tubos, flanges, conexões e válvulas são constituídos de aço inoxidável, uma vez que não necessitam suportar grandes pressões como os equipamentos. E os aços inoxidáveis, sempre que utilizados, exigem requisitos especiais de fabricação e montagem para que sua propriedade especificada em projeto não seja perdida antes mesmo de entrar em operação.

Alguns mecanismos de degradação comumente verificados nestas plantas são a corrosão intergranular, a corrosão por pites e a corrosão sob tensão.

A sensitização, que favorece a corrosão intergranular, deve ser evitada e o controle está relacionado não somente à etapa de soldagem, mas também ao processo de fabricação dos tubos. Recomenda-se a realização de testes para avaliar a suscetibilidade do material à corrosão intergranular, como o teste Streicher e o teste Strauss, ambos da Norma ASTM A262.

Existe ainda o problema dos cloretos, que podem entrar na planta de ureia de diversas formas, como pela alta concentração na água de alimentação do processo e isto pode favorecer o rompimento do filme protetor, causando corrosão localizada por pites ou corrosão sob tensão, dependendo basicamente da temperatura. Ligas com alto PREN (*Pitting Resistance Equivalent Number*) são selecionadas para evitar este tipo de degradação.

Filosofia de Seleção de Materiais

A **Error! Reference source not found.** apresenta os princípios da seleção do material para cada condição, conhecido como a “filosofia de seleção de materiais”, neste caso, para as tubulações da planta de produção de ureia. Os materiais estão posicionados no MSD, onde podem ser visualizadas as condições onde se utiliza cada tipo de material, cujas características estão apresentadas a seguir .

Tabela 2 - Filosofia de seleção de materiais para planta de ureia

Código do Material no MSD	Material	Corrosão Admissível	Meio
A01	Aço carbono	3,0 mm	Pouca agressividade do fluido
B01	Aço inoxidável austenítico 18Cr8Ni (AISI 304)	0 mm	Fluido agressivo, sem presença de carbamato de amônia
B02	Aço inoxidável austenítico com Mo (AISI 316 grau de ureia)	0 mm	Baixa concentração de carbamato de amônia
C01	Aço inoxidável superduplex (25% Cr)	0 mm	Concentração moderada de carbamato de amônia
C02	Aço inoxidável hiperduplex (29% Cr)	0 mm	Alta concentração de carbamato de amônia (síntese de ureia)

A01 – Aço Carbono

Em etapas de menor corrosividade, onde não há a presença de carbamato de amônia, não existe a necessidade de se utilizar um material com alta resistência à corrosão e a escolha natural é o aço carbono, sem elementos de liga. Utiliza-se este material com sobreespessura de corrosão de 3,0 mm.

B01 – Aço Inoxidável Austenítico AISI 304

Este material, que tem composição básica 18-20 Cr e 8-10 Ni é adotado em etapas onde não há carbamato de amônia, mas cuja taxa de corrosão para um aço ao carbono seria muito alta devido à presença de ureia e amônia, como na compressão de dióxido de carbono, remoção de hidrogênio e em algumas etapas finais do processo. Este aço austenítico pode sofrer sensitização caso não se adote testes para avaliar a resistência à corrosão intergranular. A especificação da liga deve não somente definir limites de composição mais restritos como exigir a realização do teste Strauss, conforme Norma ASTM A262 prática E, para avaliação da susceptibilidade à corrosão intergranular.

B02 – Aço Inoxidável Austenítico AISI 316L UG

O aço inoxidável AISI 316L Grau de Ureia foi desenvolvido especialmente para plantas de produção de ureia. Apresenta teor de cromo um pouco mais baixo (17Cr) mas teores de níquel mais elevados (na ordem de 12Cr) e presença de molibdênio (2,2%). No entanto, devido ao baixo teor de cromo, é necessário grande quantidade de ar para passivar este material. Assim, seu uso fica restrito a regiões onde há baixas concentração de carbamato e pressão de processo. Assim como o aço B01, recomenda-se a realização do teste Strauss, conforme Norma ASTM A262 prática E, para avaliação da susceptibilidade à corrosão intergranular.

C01 – Aço Inoxidável Superduplex

Com uma concentração de carbamato de amônia maior, passa a haver a necessidade de um material que apresente melhor resistência à corrosão, como um aço inoxidável superduplex (23 a 25Cr) e em torno de 5Ni com 3Mo. Seu alto teor de cromo favorece a estabilidade da camada passivadora.

Também neste caso, se recomenda a realização do teste Strauss, conforme Norma ASTM A262 prática E, embora os duplex apresentem menor susceptibilidade à corrosão intergranular. Neste caso, devem-se adotar critérios para avaliar que não existem fases sigma ou nitretos que comprometam a resistência à corrosão.

C02 – Aço Inoxidável Hiperduplex

A etapa de síntese de ureia é uma etapa bastante agressiva para a tubulação devido à alta concentração de carbamato de amônia, exigindo um material que forme rapidamente a camada passivadora e que ela seja bastante estável para resistir às condições impostas de agressividade, pressão e temperatura. Por este motivo, é selecionado um aço inoxidável com altíssimo teor de cromo, um hiperduplex (28 a 30Cr com 6Ni e 2Mo), e realizar um teste para avaliação da suscetibilidade à corrosão intergranular um pouco mais criterioso, baseado na perda de massa do componente, como o teste Streicher, conforme Norma ASTM A262 prática B, além de ensaio metalográfico.

Estes aços constituem praticamente a totalidade das linhas na etapa de síntese de ureia, que é a etapa mais crítica de todo o processo.

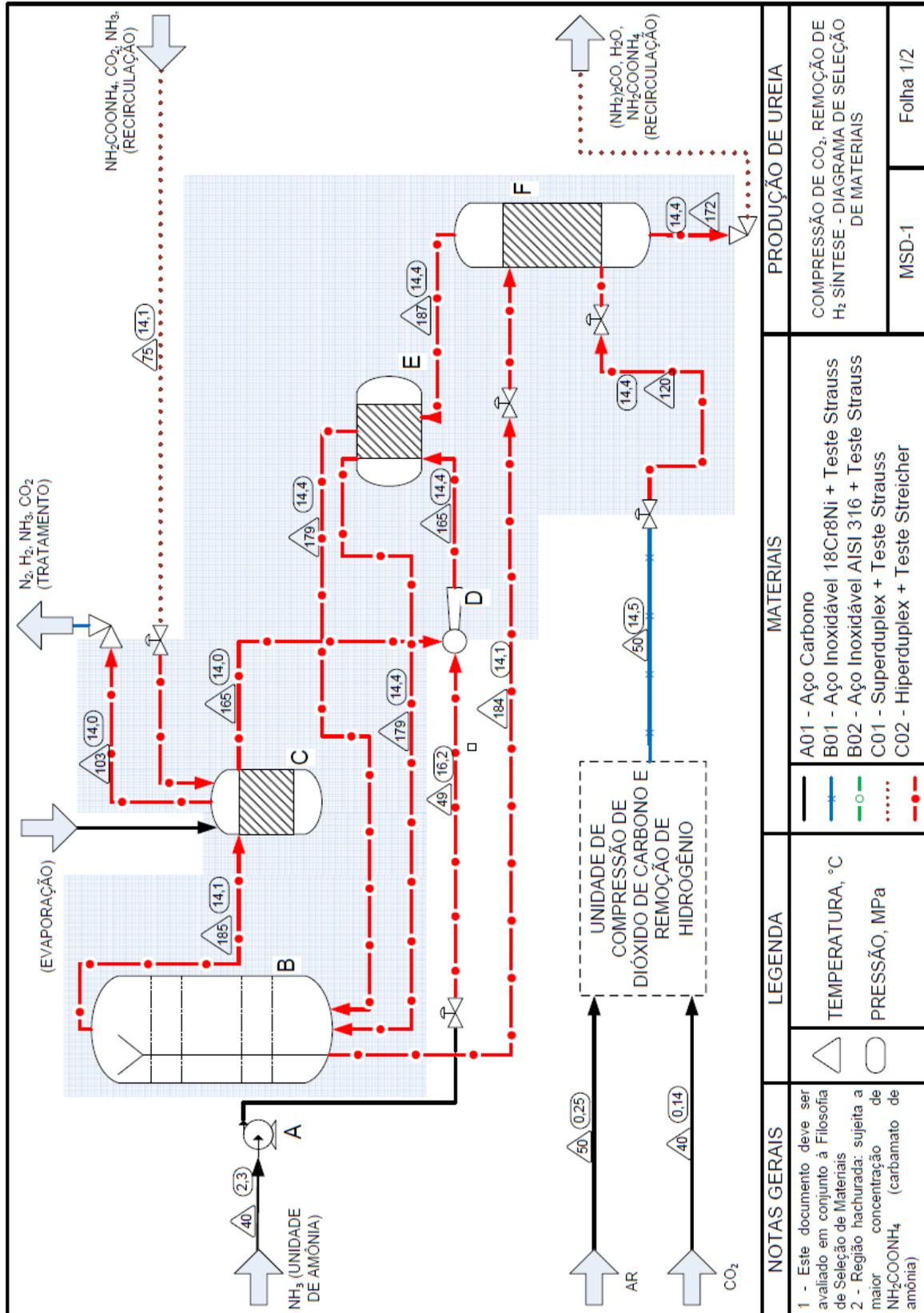


Figura 4 - MSD para planta de produção de ureia

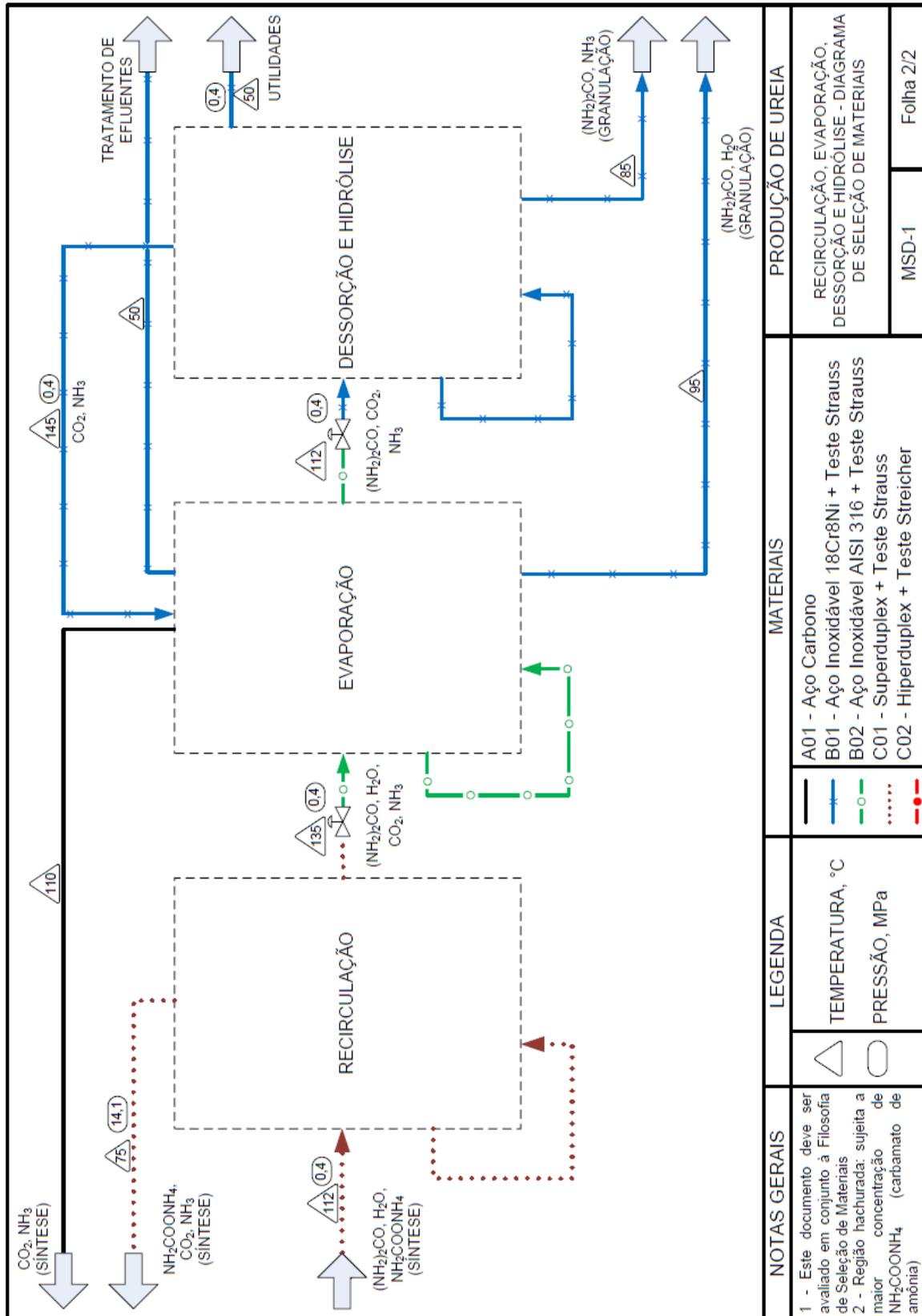


Figura 5 - MSD para planta de produção de ureia (continuação)

Considerações Finais

Este trabalho apresentou um estudo de caso de seleção de materiais para uma planta de produção de ureia.

Como foi visto, a seleção e a especificação dos materiais envolvem um estudo de todo o processo nos sistemas em que o material irá trabalhar, entendendo as solicitações impostas e as propriedades requeridas, buscando atender às características do projeto com o menor custo possível.

Foram apresentadas as principais etapas do processo de produção de ureia, bem como os materiais utilizados neste tipo de planta para resistir às formas de degradação que podem ocorrer durante o processo.

Verificou-se que a presença de carbamato de amônia, um subproduto bastante corrosivo da produção de ureia, é extremamente crítica, exigindo a seleção de materiais resistentes, produzidos especialmente para plantas de ureia, principalmente na etapa de síntese, onde a concentração de carbamato é maior e as condições de processo (temperatura e pressão) são bastante elevadas.

O uso de um aço inoxidável hiperduplex se mostrou indicado na etapa de síntese por apresentar alto teor de cromo (29%), o que facilita a formação de uma película protetora íntegra e muito estável, com pouca quantidade de oxigênio para esta formação.

Nas demais etapas, a seleção de materiais menos nobres se fez de acordo com a concentração de carbamato de amônia (quanto menos carbamato, menos agressivo é o meio) e a pressão de processo.

Para os aços inoxidáveis, verificou-se a necessidade de exigir, nas especificações de projeto, requisitos de testes ainda em fabricação.

Finalmente, a elaboração do MSD permitiu ter uma visão geral dos problemas associados a cada etapa e, juntamente com a filosofia de seleção apresentada, entender a seleção dos materiais.

Referências bibliográficas

[1] INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION. **O Uso de Fertilizantes Minerais e o Meio Ambiente**. 2000. Disponível em: <www.anda.org.br>. Acesso em: 16/04/2011.

[2] NACE INTERNATIONAL. **Format, Content, and Guidelines for Developing a Materials Selection Diagram**. 2007.

[3] CHAWLA, S. L.; GUPTA, R. K. **Corrosion Control**. ASM International. 3 Ed. USA. 1995.

[4] FARRARO, T.; STELLINA JR., R. M. **Materials of Construction for Refinery Application**. 1996.

[5] ROYMECH. **Metal Costs**. Disponível em: <www.roymech.co.uk>. Acesso em: 21/07/2011.

[6] TELLES, P. C. S. **Tubulações Industriais, Materiais, Projetos, Montagem**. 10 Ed. Rio de Janeiro: LTC.

[7] ZEEMANN, A. **Materiais e Soldagem Aplicados a Equipamentos e Tubulações de Refinarias**. Recife. 2011.

[8] THYESSEN KRUPP. **Urea**. Disponível em: <www.uhde.eu>. Acesso em: 10/07/2011.

- [9] JAPAN CONSULTING INSTITUTE. **Fertilizer Manufacturing Technologies**. Disponível em: <www.jci-plant.or.jp>. Acesso em: 23/07/2011.
- [10] UHDE HIGH PRESSURE TECHNOLOGIES. **High Pressure Equipment for Urea Plants**. Disponível em: < www.uhde-hpt.com >. Acesso em: 24/05/2011.
- [11] EEIL. **Manufacturing Process – Fertilizer**. <www.eeii.org.in>. Acesso em: 23/07/2011.
- [12] UREA KNOW HOW. **Leak Detection Systems in Urea Plants**. 2009. Disponível em: <www.ureaknowhow.com>. Acesso em: 29/05/2011.
- [13] UREA KNOW HOW. **Chlorides in Urea Plants**. 2009. Disponível em: <www.ureaknowhow.com>. Acesso em: 31/05/2011.
- [14] GENTIL, V. **Corrosão**. 6. Ed. Rio de Janeiro: LTC. 2011.
- [15] FARAJI, A. H. **Stress Corrosion Cracking of Austenitic Stainless Steel in Fertilizer Plants**. 2003.