

ANÁLISE ECONÔMICA DE PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DE ÁCIDO CLORÍDRICO

GLORIA, Luccas de Medeiros; VIVEIROS, Bárbara Victória Gonçalves

lucasgloria@gmail.com; barbaravictoriaviveiros@gmail.com

Faculdades Oswaldo Cruz

Resumo: *O objetivo do presente trabalho visa revisar a bibliografia disponível acerca do processo de recuperação de ácido clorídrico empregado em indústrias siderúrgicas durante a etapa de decapagem de aços inoxidáveis e analisar a viabilidade econômica referente a implantação de tal processo. Através da pesquisa, análise e estudo dos conceitos de balanço material e energético, operações unitárias, ciência e engenharia dos materiais, termodinâmica, engenharia econômica e ambiental, foi possível entender o funcionamento do processo e suas vantagens. Além disso, verificou-se que o descarte indevido de soluções agressivas pode causar um dano irreparável ao meio ambiente. Já a reutilização do ácido no próprio processo, além de eliminar a preocupação de neutralizar e descartar efluentes, promove um corte de custos na compra da matéria-prima necessária. Portanto, conclui-se que, apesar de todos os custos envolvidos no investimento de um projeto desta magnitude, sua implantação, se feita de maneira adequada e sob condições favoráveis, garante um desenvolvimento sustentável, melhorias de rendimento no processo e vantagens econômicas às indústrias.*

Palavras-Chave: *Siderurgia. Aço Inoxidável. Ácido Clorídrico. Recuperação*

Abstract: *The goal of this present work is to review the available literature about the process of Hydrochloric Acid recovery used during the stage of pickling stainless steel in the steel industry and to analyze the economic viability of this process's implantation. Through searches, analysis and concept studies of material and energetic balance, unitary operations, material science and engineering, thermodynamics, economic and environmental engineering, could be possible to know the function of this process and the advantages. Beyond that, it was found that the improper discard of aggressive solutions can cause irreparable damages at the environment. The reutilization of the acid in that process, besides eliminating neutralization and waste disposal concerns, leads to reduced costs avoiding to buy new raw material. Therefore, in conclusion, although all the involved costs in a high magnitude investment project, your implantation, if done in the correct way and with good conditions, ensures a sustainable development, improvements in process yield and economic advantages at industry.*

Keywords: *Steel Industry. Stainless Steel. Hydrochloric Acid. Recovery*

INTRODUÇÃO

A recuperação de ácido clorídrico é um método amplamente utilizado em indústrias siderúrgicas com a finalidade de regenerar o ácido utilizado na etapa de decapagem de aços. Nesta etapa o aço passa por um banho ácido para retirar óxidos e impurezas. O ácido residual, por carregar estas partículas, se torna impróprio para o uso e deve ser regenerado para voltar a ser utilizado.

Apesar de existirem diversos tipos de tratamentos, destinos e aplicações para o ácido, o processo de recuperação possui diversas vantagens que o tornam extremamente atrativo para as indústrias quando comparado a outros métodos. Isto porque cada método possui uma limitação ou uma característica que dificulta sua execução em determinadas situações.

Em relação aos problemas econômicos, sabe-se que esta é uma das maiores preocupações das empresas. Por isso pode-se entender que tratar, neutralizar, transportar e descartar grandes quantidades de ácido demanda gasto de recursos. Por outro lado, recuperar o ácido pode apresentar grande vantagem econômica por garantir que a maior parte do ácido não precise ser readquirida.

O objetivo do presente trabalho é justamente comparar, através de uma análise econômica, a atratividade, tempo de payback e outros fatores do processo de recuperação de ácido clorídrico, podendo demonstrar se a implantação deste método apresenta vantagens financeiras à empresa.

Para seu desenvolvimento foram utilizadas revisões bibliográficas de diversas fontes, como livros, artigos científicos e outras publicações. A análise econômica foi baseada na teoria do valor presente líquido e em dados reais obtidos, com autorização, de indústrias e organizações especializadas.

SIDERURGIA

A siderurgia, ou metalurgia do ferro, se baseia na extração dos metais e seus minérios para transformá-los e utilizá-los em indústrias. No Brasil as indústrias siderúrgicas são classificadas de acordo com o tipo de aço produzido, sendo eles, semiacabados, planos comuns, longos comuns, planos de aços especiais, longos de aços especiais e tubos sem costura (AARS, 2016).

O processo siderúrgico tem como finalidade o tratamento e a produção de aço a partir de processos químicos e físicos. A matéria prima passa por diversos tratamentos, visando eliminar todas as suas impurezas e, então, segue para a fundição. Os procedimentos utilizados em uma siderurgia começam desde a preparação da matéria prima, para que não ocorra degradação dos equipamentos, até seu molde, que variam de acordo com os modelos desejados a serem produzidos.

Assim que preparada a matéria prima, segue para a coqueria, onde o material é aquecido a 1300°C, a fim de restar apenas uma massa sólida de carbono, chamado coque. Em seguida, o material é sinterizado, ou seja, aquecido novamente, porém com temperaturas menores que seu ponto de fusão para gerar um produto com maior resistência mecânica e melhores propriedades.

Para a produção de ferro, é necessário reduzir o NOX do metal, essa etapa é feita a partir do alto forno onde ocorre a redução e a fusão do ferro gerando ferro gusa, esse material assim que sai do alto forno apresenta impurezas. A fim de tratar esse ferro gusa, ele é enviado ao refino por meio de conversores ou fornos elétricos. Assim que tratado, segue para o lingotamento, resfriando o aço líquido formado em temperaturas controladas, e moldados em

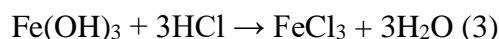
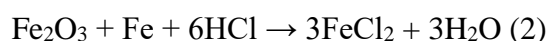
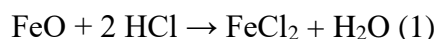
formatos convenientes para a etapa de laminação, essa etapa é onde transforma o lingote em produtos semielaborados e assim que laminado, o aço é transferido para a área de decapagem.

O processo de decapagem é onde ocorre a remoção de óxidos e impurezas inorgânicas dos materiais de sua superfície metálica que surgiram no processo de laminação. No caso estudado, apenas a decapagem química será abordada, pelo fato da utilização de ácidos nesse tipo de procedimento.

A decapagem prepara o material para ser revestido, retirando suas impurezas superficiais, utilizado também para evitar novos desgastes no material e novas oxidações. Para esse tratamento químico são utilizados ácidos fortes, como o ácido clorídrico, por sua rapidez ao ataque à carepa, menos agressivo ao material, o produto decapado sai mais limpo e possui maior aspereza. Também pode-se dizer que o resíduo produzido pela utilização do ácido sulfúrico, sulfato ferroso (FeSO_4), é menos solúvel que o resíduo produzido pelo ácido clorídrico, gerando cloreto ferroso (FeCl_2), que apresenta maior qualidade na solubilização.

Esse processo de decapagem consiste na imersão do material laminado em tanques contendo ácido clorídrico (80 a 90°C) durante alguns minutos. A duração desse banho varia de acordo com as características do material, a concentração do ácido, a temperatura do banho e a espessura da camada de óxidos no metal. O cloro que está presente no ácido clorídrico, junta-se com o ferro das impurezas e oxidações, gerando uma reação entre eles formando cloretos de ferro II e cloretos de ferro III. Com isso, as impurezas ficam mais fáceis de serem removidas e, então, os produtos são transferidos imediatamente para tanques contendo água, onde ocorre a remoção de qualquer outro resíduo presente e para que não exista possibilidades futuras de corrosão, especialmente a corrosão por pite ou alveolar.

As reações químicas que ocorrem na decapagem utilizando o ácido clorídrico se baseiam com relação ao tipo de óxido envolvido e a concentração de ácido utilizado nos tanques de decapagem. Então, a reação básica entre o óxido ferroso e o ácido clorídrico está situado na Equação (1). Já a reação entre o óxido férrico e o ácido clorídrico se baseia na equação (2). Como foi citado anteriormente, também ocorre a formação do subproduto cloreto de ferro III e basicamente é produzido pela reação entre o hidróxido de ferro III com o ácido clorídrico, expresso na Equação (3).



Conhecido também como ácido muriático e cloreto de hidrogênio (HCl), o ácido clorídrico pode conter de 32% a 37% de cloreto de hidrogênio em peso e sua formação deve ser elaborada com cuidado, por ser bem reativo. Pode ser obtido de duas maneiras, onde na sua primeira forma ocorre o aquecimento do gás hidrogênio e o gás cloro em elevadas temperaturas gerando ácido clorídrico gasoso. Já na segunda maneira o ácido pode ser obtido através da mistura de ácido sulfúrico (H_2SO_4) com o cloreto de sódio (NaCl), gerando também ácido clorídrico gasoso e bissulfato de sódio (NaHSO_4).

A principal aplicação do ácido clorídrico, com relação à siderurgia, é na etapa de decapagem do metal, como discutido anteriormente. O ácido é utilizado para remover as impurezas e oxidações presentes nos metais, com concentração de cerca de 18%. Antigamente os ácidos utilizados na decapagem não eram tratados e reciclados como é feito atualmente.

AÇO INOXIDÁVEL

Assim como todos os outros aços, o aço inoxidável não é um metal puro que pode ser encontrado e extraído da natureza. É uma liga formada pela união de outros elementos, na qual a quantidade de cada componente determina suas propriedades e características.

O ferro é o principal e mais abundante elemento presente nesta liga. Em sua forma pura, possui pouca resistência mecânica e à corrosão, sendo considerado frágil, quebradiço, extremamente propenso à oxidação e, por isso, geralmente não é utilizado diretamente.

Adicionando uma pequena quantidade de carbono à estrutura, o ferro passa a ser chamado de aço e adquire características muito interessantes, como: maior dureza, ductilidade, tenacidade.

Desta forma, antes com pouca utilidade, o material passa a ter grande atratividade na construção de materiais com diferentes finalidades. Apesar disso, o aço carbono ainda é vulnerável a diversos tipos de substâncias que podem causar oxidação, degradando sua estrutura (ISSF, 2016).

O diferencial do aço inox é a sua capacidade de resistir à ataques químicos e suportar o contato com meios extremamente agressivos. Esta característica é obtida através da adição de determinadas quantidades do metal cromo, muitas vezes em conjunto com outros metais que também podem aprimorar ainda mais as propriedades deste aço, como molibdênio, cobre e titânio. Quando o cromo presente na liga entra em contato com o oxigênio do ar ocorre a formação de uma camada passiva. Esta reação é chamada de passivação. A camada formada na superfície do material é constituída de óxidos de cromo, que isolam o aço de meios corrosivos e garantem sua proteção (BSSA, 2016).

Devido à necessidade de materiais com características específicas, diversos tipos de aços inoxidáveis foram desenvolvidos. Somente a ASTM define mais de 80 tipos diferentes. Estes podem ser classificados, basicamente, em quatro grupos: ferríticos, austeníticos, martensíticos e duplex (TELLES, 2003).

PROCESSO DE RECUPERAÇÃO

Conforme demonstrado anteriormente, o processo de decapagem demanda uma quantidade de ácido clorídrico considerável para tratar e preparar a superfície de aços para a etapa de laminação. Durante muito tempo diversas técnicas foram utilizadas para descartar estas soluções, evitando da melhor forma possível agredir ao meio ambiente. Uma destas técnicas, ainda utilizada em pequena escala hoje em dia, é a neutralização do ácido e a outra técnica bastante obsoleta é a injeção da solução no solo, pois, apesar de promover uma neutralização natural, compromete a qualidade do solo e aumenta o risco de contaminação de lençóis freáticos e mananciais (AGRAWAL, Aditya).

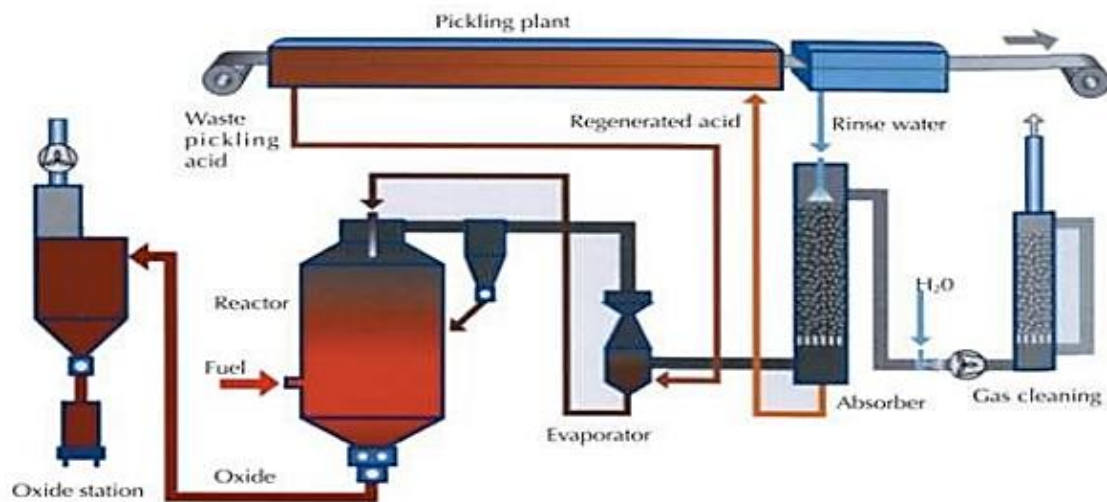
A questão ambiental, por si só, já seria o suficiente para mobilizar o desenvolvimento de técnicas para tratamento do efluente de decapagem. Entretanto, o fator econômico tem grande peso na tomada de decisões por parte das indústrias. Isto porque sem um tratamento adequado todo o ácido precisaria ser adquirido periodicamente, causando um grande impacto nas finanças da organização e, possivelmente, tornando o processo economicamente inviável.

Foi neste cenário em que ocorreu o desenvolvimento do processo de recuperação de ácido clorídrico. Através deste processo, cerca de 99,99% do ácido pode retornar à planta de decapagem e ser reutilizado.

Atualmente existem diversos tipos de plantas de recuperação. Os principais utilizam membranas, cristalização ou piroidrólise a fim de obter uma solução livre de óxidos e metais que, após extraídos, podem ser utilizados como matéria-prima de produtos sinterizados

(cerâmicas), materiais abrasivos, tijolos e pigmentos. A Figura 1 representa uma planta de Recuperação de Ácido Clorídrico.

Figura 11 Diagrama da Planta de Recuperação de Ácido



Fonte: MetSep, 2016

Após a etapa de decapagem, a solução de ácido descartada é conduzida por uma bomba até a primeira seção da unidade de recuperação. Esta seção utiliza um evaporador/purificador Venturi. A dupla característica deste equipamento se deve à sua capacidade de aumentar a concentração do líquido de alimentação e purificar, ao mesmo tempo, os gases exaustos do reator.

Um purificador Venturi consiste em uma operação unitária que utiliza um fluxo vertical descendente, controlando os resíduos e poluentes em correntes gasosas. Geralmente ficam limitados a separar MP e gases de alta solubilidade. Neste caso, também exerce a função de pré aquecedor, evaporando aproximadamente 30% em massa do ácido residual. Este purificador possui um arranjo onde os gases exaustos do reator são introduzidos na seção de convergência e sua velocidade é aumentada pela diminuição do tubo, fazendo com que o fluxo torne turbulento. Sua velocidade é máxima ao atingir a garganta do purificador.

A solução ácida é, geralmente, introduzida no purificador na seção de garganta. Devido à alta velocidade e turbulência da corrente gasosa, o líquido é atomizado e sua área de contato aumenta, possibilitando uma maior interação entre as partículas de poluentes e o líquido. Um ponto que deve ser observado é que o aumento da velocidade aumenta a perda de carga e causa maior consumo de energia.

O contato direto entre as correntes permite a troca de calor, possibilitando a recuperação da energia térmica gerada na reação através da evaporação da corrente de entrada. A evaporação começa a aproximadamente 102°C e com o aumento da concentração parte do óxido de ferro é precipitado no fundo no purificador. O gás de exaustão é resfriado a cerca de 96°C.

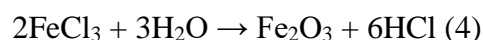
Após a garganta, existe um difusor responsável por diminuir novamente a velocidade do fluido. Esta diminuição faz com que as gotículas se aglomerem e voltem ao estado líquido. As partículas de material particulado capturadas são separadas juntamente com o óxido e, desta forma, é obtido um gás de exaustão livre destes poluentes. Passando pelo difusor, o líquido concentrado é separado do material precipitado através de um separador. A “borra” de poluentes é retirada pela parte inferior e o líquido segue para o reator. (VITO, 2015).

O reator mais utilizado para a recuperação de ácido clorídrico é o tipo “spray roaster” (atomização). Este reator consiste, basicamente em um vaso com o fundo cônico, geralmente feito de materiais resistentes à corrosão ácida e à altas temperaturas, além de possuírem um revestimento refratário.

A solução ácida é atomizada por um conjunto de bicos injetores localizados no topo do reator, com o objetivo de nebulizar as partículas no meio para aumentar a área de transferências de massa. Para a combustão dessa solução, deve ocorrer o aquecimento do reator, onde pode ser realizado através da queima de combustível, como gás natural, ou utilizando câmaras de combustão montadas tangencialmente ao reator, fazendo com que a queima ocorra em um ambiente separado da reação principal. O calor gerado por esta queima é suficiente para proporcionar a evaporação completa da solução e dar início à reação de piroidrólise, que ocorre a cerca de 800°C.

A piroidrólise pode ser definida como: a conversão de haletos metálicos em óxidos metálicos, utilizando altas temperaturas de processo e presença de vapor d’água. Neste caso, ocorre a conversão de cloreto de ferro em óxido de ferro a partir do contato dos íons cloreto com a superfície do aço. Abordando de forma prática e contextualizada, a hidrólise é a decomposição do reagente através da água. Esta decomposição depende de fatores que possibilitem a formação de um ambiente propício para uma conversão completa.

Por se tratar de uma reação endotérmica, o calor gerado pelas câmaras de aquecimento garante a hidrólise do cloreto de ferro, ou seja, a “quebra” da molécula através da água. Os produtos desta conversão são o pó de óxido de ferro e o cloreto de hidrogênio gasoso, os quais serão tratados e separados. Desta forma, é possível verificar a dependência do processo de piroidrólise em relação às grandes quantidades de calor e vapor. Esta conversão pode ser representada através da Equação (4):



No caso de existir o contato destas substâncias com oxigênio dentro do reator, também ocorre a reação demonstrada pela Equação (5):



A maior parte dos cloretos metálicos pode ser hidrolisada quando submetida a altas temperaturas. Para desenvolver este processo, a temperatura do reator é o principal parâmetro a ser observado. Os parâmetros mais importantes para os resultados do processo e qualidade dos produtos são: pressão, ângulo de jateamento, temperatura e concentração de sais.

Além disso, o ponto de fusão e a pressão de vapor também devem receber atenção. Componentes com baixa temperatura de fusão causam efeitos indesejados na fase de síntese. Já compostos com alta pressão de vapor resultam na formação do gás cloreto em pontos de menor temperatura. Este gás não pode ser retirado através de ciclones e separadores comuns e, por isso, deve passar por um pós-tratamento em torres de absorção.

Após a reação, os produtos são descarregados do reator. Vapor d’água, cloreto de hidrogênio, gases de combustão e partículas de óxidos arrastadas são retiradas pelo topo e seguem para as unidades de lavagem e purificação. A maior parte dos óxidos e fuligem são retiradas pelo fundo através de uma válvula rotatória e são direcionados a processos de separação e tratamento.

Após o processo de reação no reator Spray Roaster, ocorre o tratamento do gás produzido, contendo ácido clorídrico, vapor d’água, gases de combustão e partículas de óxidos. Para que o fluido de entrada da coluna de absorção apresente baixa concentração de resíduos, é necessário remover as partículas restantes de óxido. Esse processo ocorre por meio

da separação por ciclone, onde o gás alimentado opera através de processos centrífugos, gravitacionais e forças inertes para remoção das partículas de impureza.

O gás entra na alimentação de forma tangencial, para que exista uma força centrífuga gerada pela velocidade de entrada do gás, gerando uma corrente de gás em forma espiral, que segue até o fundo do ciclone. Assim que chega ao final, após tocar o tronco do cone, ascende novamente ao topo. Sendo assim, o gás limpo é removido pela parte superior do ciclone e as partículas pesadas de resíduo são retiradas pelo fundo do separador.

O gás pré-tratado no processo de separação por ciclone ainda possui porcentagens de impurezas. Como o ácido deve ser regenerado para a sua reutilização no processo de decapagem, deve haver o tratamento desse gás para separar o ácido clorídrico dos outros componentes da mistura e retirar o máximo possível de resíduos para não causar danos naturais.

Para o tratamento da água dos tanques, que são utilizados após o processo de decapagem, e do gás é necessária a utilização de um absorvedor, onde o tratamento por absorção, ou purificação por lavagem, é realizado quando o gás entra em contato com a água de rinsagem. O gás é alimentado por baixo do absorvedor e a água é alimentada no topo da coluna, um processo realizado em contracorrente.

O processo de absorção tem como objetivo a transferência de massa do gás e do líquido utilizados para remoção de um ou mais componentes de uma mistura gasosa, a qual entra em contato direto com o líquido, ocorrendo a dissolução desses compostos. No caso da regeneração de ácido clorídrico, será utilizado a absorção física, pelo fato de não ocorrer reação química entre a água e o ácido, mas a solubilização do mesmo. Como a água de rinsagem apresenta 0,5% de ácido clorídrico, o gás entra em contato com a água e ocorre a transferência de massa. Após o contato o ácido é removido da coluna e pode ser reutilizado no processo de decapagem.

A água retirada do processo de absorção ainda contém óxidos, impurezas da decapagem e pequenas porcentagens de ácido clorídrico. Portanto, para ser reutilizada no processo de lavagem deve passar por outro tratamento. Para isso, é utilizado o processo de neutralização da água, reduzindo a concentração de óxidos e impurezas, inclusive aumentando o seu pH.

Há o tratamento de neutralização da solução e a decantação dos óxidos, que são insolúveis em água, alimentando continuamente no processo de neutralização, juntamente com soluções básicas para o aumento do potencial de hidrogênio. Após esse tratamento, pode-se reutilizar a água no processo posterior à decapagem: lavagem dos materiais decapados. Os óxidos formados devem ser tratados, assim como os óxidos obtidos no reator.

Com base em todos os equipamentos e processos utilizados, além de poder recuperar e reutilizar o ácido clorídrico na decapagem, esse processo de recuperação também é voltado para a questão ambiental, onde seus efluentes que antes eram tratados e descartados, mesmo assim causavam problemas ambientais. Já com esses procedimentos, o ácido é praticamente totalmente reutilizado, os óxidos tratados são comercializados, resultando em pequenas quantidades de descarte industrial, amenizando problemas ambientais gerados em uma indústria siderúrgica.

ANÁLISE ECONÔMICA

O ácido clorídrico é uma das commodities químicas mais importantes da atualidade. Seu preço e suprimento estão diretamente ligados a dinâmica de mercado. Como exemplo, é possível citar a grande queda na produção de ácido após os eventos do tornado Katrina nos EUA. Neste período, diversas plantas de ácido clorídrico foram fechadas, o que provocou uma grande queda no suprimento e, conseqüentemente, um aumento nos preços.

Somente com este exemplo já é possível perceber a importância de ter condições de recuperar o ácido clorídrico gasto e poder reutilizá-lo no próprio processo, proporcionando um considerável corte de gastos, se comparado aos processos mais comuns de tratamento e descarte.

Em virtude do grande número de dados divergentes referente à produção anual de ácido, bem como os custos de cada componente, é necessário adotar algumas premissas para realizar uma análise coerente sobre as despesas e os ganhos do processo de recuperação. Além disso, para melhor visualização e entendimento, a presente análise compara os resultados com uma das técnicas mais utilizadas de tratamento de ácido: a neutralização.

A quantidade de ácido utilizado no processo de decapagem é de, aproximadamente, 4.388 metros cúbicos por ano e a capacidade de recuperação equivale a 18 metros cúbicos por dia, o que está de acordo com os dados apresentados no capítulo anterior. Outra premissa que deve ser adotada é o percentual de ácido que pode ser recuperado no processo: 99%. Também foram considerados 252 dias por ano em que o processo desempenha sua função.

O metro cúbico de ácido clorídrico pode ser adquirido, em média, por 140 dólares. Já a própria etapa de neutralização e descarte possui um custo que gira em torno de 89 dólares por metro cúbico de ácido tratado. No processo de recuperação por piroidrólise o aquecimento do reator é feito, geralmente, por gás natural. Seu valor comercial adotado é de 0,43 dólares por metro cúbico. Além da energia térmica, a recuperação também utiliza determinada quantidade de energia elétrica para manter as operações unitárias auxiliares funcionando. Foi considerado um custo de 0,12 dólares por quilowatt-hora.

Primeiramente, é necessário comparar o consumo de ácido clorídrico em uma planta de decapagem dependendo do tratamento de ácido utilizado. No caso da neutralização, praticamente todo o ácido utilizado precisa ser descartado. Por isso, a indústria tem a necessidade de adquirir a mesma quantidade de ácido sempre que está se torna “gasta”.

Em contrapartida, por possuir um rendimento de 99%, a recuperação devolve quase todo ácido utilizado, necessitando adquirir apenas 1% desta quantidade, o que equivale a, aproximadamente, 44 metros cúbicos de ácido por ano. Com a Tabela 1 é possível verificar que, apenas com este componente, existe uma redução de gastos superior a 600 mil dólares por ano.

Tabela 1 Custos de Operação e de Produtos Consumidos

Produto Consumido	Neutralização		Recuperação	
	Quantidade (m ³ /ano)	Custo (US\$/ano)	Quantidade (m ³ /ano)	Custo (US\$/ano)
Ácido Clorídrico	4.388,00	614.320,00	43,90	6.146,00
Gás Natural	-	-	105.000,00	45.150,00
Descarte/Tratamento	6.814,00	606.446,00	262,00	23.318,00

Fonte: Autoria Própria, 2016

Em relação ao uso do gás natural, somente a recuperação faz uso deste componente. Apesar de parecer uma desvantagem, o custo por unidade de gás natural é consideravelmente menor do que do ácido, causando pouco impacto no balanço final. Utilizando cerca de 105 mil metros cúbicos por ano, existe um custo anual de pouco mais de 45 mil dólares.

Outro grande impacto financeiro no processo de neutralização é o custo associado ao próprio tratamento e descarte do ácido. Este fator engloba a neutralização do ácido, neutralização da água, transporte dos efluentes, local de descarte e custos associados aos cuidados extras em questões ambientais e regulatórias. Somando todos os efluentes da neutralização, é necessário lidar com cerca de 6.814 metros cúbicos de material de descarte

por ano. Todas estas etapas e cuidados geram um custo de, aproximadamente, 600 mil dólares, enquanto que no processo de recuperação são gastos pouco mais de 23 mil dólares.

Como subproduto da recuperação, o óxido de ferro pode ser vendido por 50 dólares por tonelada. Apesar da venda deste componente não causar grande impacto no fluxo de caixa, a vantagem está em não ter que lidar com mais um produto a ser descartado. O retorno obtido é de 5.350 dólares por ano.

Conforme explicado, o processo de recuperação não depende apenas do suprimento de calor, mas também de energia elétrica, responsável por alimentar todos os equipamentos utilizados, como colunas de purificação, bombas, válvulas, etc. O consumo elétrico deste processo é dez vezes superior ao de neutralização. Fazendo uso de 121 mil quilowatt-hora por ano, recuperar o ácido clorídrico gera uma despesa de quase 15 mil dólares. É possível visualizar um contraste neste ponto, já que neutralizar o efluente custa apenas 1.200 dólares. Este processo não utiliza mais do que 100 quilowatt-hora a cada ano.

Entretanto, um fator que pode minimizar o alto consumo de energia é o reaproveitamento de calor através da troca térmica realizada no pré-concentrador. Como parte da energia térmica produzida durante a reação de piroidrólise é transferida para o fluido de entrada do reator, existe um aproveitamento de 38 mil quilowatt-hora. Cerca de 4.500 dólares são poupados por ano da conta de energia elétrica.

Além dos produtos consumidos e produzidos, é necessário avaliar os recursos necessários para manter ambos os processos em funcionamento. Neste ponto, o processo de neutralização apresenta mais uma vantagem, pois os custos associados à manutenção são mínimos, não atingindo 100 dólares por ano. Por se tratar de um processo mais complexo, a recuperação utiliza diversos equipamentos e operações unitárias que requerem uma supervisão constante, a fim de detectar e corrigir eventuais problemas. Todos estes cuidados custam cerca de 24 mil dólares.

Conhecendo todas as despesas e receitas dos processos citados, é possível comparar o custo total de operação a cada ano. O processo de recuperação poupa mais de um milhão de dólares por ano aos cofres da empresa quando comparado ao processo de neutralização.

Apenas estes dados já seriam suficientes para demonstrar a vantagem em implantar o processo em uma indústria que utiliza milhares de metros cúbicos de ácido por ano. Apesar disso, é possível realizar uma análise mais coerente comparando o investimento necessário para implementar cada processo.

Tabela 2 Comparação Custo Total x Investimento

Fator	Neutralização Custo (US\$)	Recuperação Custo (US\$)
Custo Total	1.222.048,00	103.884,00
Investimento Inicial	1.800.000,00	3.500.000,00

Fonte: Aatoria própria, 2016

O relatório anual da International Mine Water (2012) demonstra que para projetar um processo de neutralização é necessário um investimento de 1.500.000 dólares. Já o relatório anual da Heron Resources (2014) mostra que para implementar um processo de recuperação é necessário investir com 3.500.000 dólares. Apesar de ter um investimento consideravelmente maior, pode-se analisar a atratividade do projeto levando em consideração a redução anual nas despesas de operação, calculando sua taxa interna de retorno e tempo de Payback.

O método adotado nesta análise é do Valor Presente Líquido (VPL). Admitindo-se uma TMA de 15% a.a. em um período de 10 anos, e considerando que a redução nas despesas pode ser tratada como lucro, obtém-se o VPL conforme equação abaixo:

$$VPL = -Investimento + PMT \left[\frac{(1+i)^n - 1}{1 + (1+i)^n} \right] + \frac{Fv}{(1+i)^n}$$

$$VPL = -3500000 + 1118164 \left[\frac{(1+0,15)^{10} - 1}{1 + (1+0,15)^{10}} \right] + \frac{1468164}{(1+0,15)^{10}}$$

$$VPL = 2.025.291,75$$

O valor presente líquido obtido é mais um indicativo de que o projeto possui boa atratividade e viabilidade econômica. Entretanto, para analisar a real taxa do projeto, é necessário calcular a Taxa Interna de Retorno (TIR). Esta taxa é definida como a taxa de desconto de um investimento que torna seu VPL nulo, ou seja, faz com que o retorno pague o investimento inicial.

Utilizando um segundo valor de taxa mínima de atratividade (neste caso, 30%), é possível calcular outro VPL e obter a taxa interna de retorno do projeto através de interpolação, conforme abaixo:

$$VPL = -3500000 + 1118164 \left[\frac{(1+0,30)^{10} - 1}{1 + (1+0,30)^{10}} \right] + \frac{1468164}{(1+0,30)^{10}}$$

$$VPL = -68540,18$$

$$\frac{TIR - 15}{30 - 15} = \frac{0 - 2025291,75}{-68540,18 - 2025291,75}$$

$$TIR = 29,5\%$$

Uma taxa interna de retorno de 29,5% também é um forte indicativo de que o projeto em questão é uma boa opção de investimento, se utilizados os parâmetros considerados nesta análise. Apenas como base de comparação, valores de TIR entre 15 e 20% para projetos industriais são considerados atrativos.

Outro indicador bastante utilizado na análise de retorno de projetos é o Payback. O Payback indica o tempo necessário para que o lucro acumulado se iguale ao investimento e pode ser visualizado, conforme a equação:

$$Payback = \frac{Investimento}{Lucro Anual Acumulado}$$

Utilizando os valores obtidos anteriormente, o Payback simples do projeto referente ao processo de recuperação pode ser calculado:

$$Payback = \frac{3.500.000,00}{1.118.164,00}$$

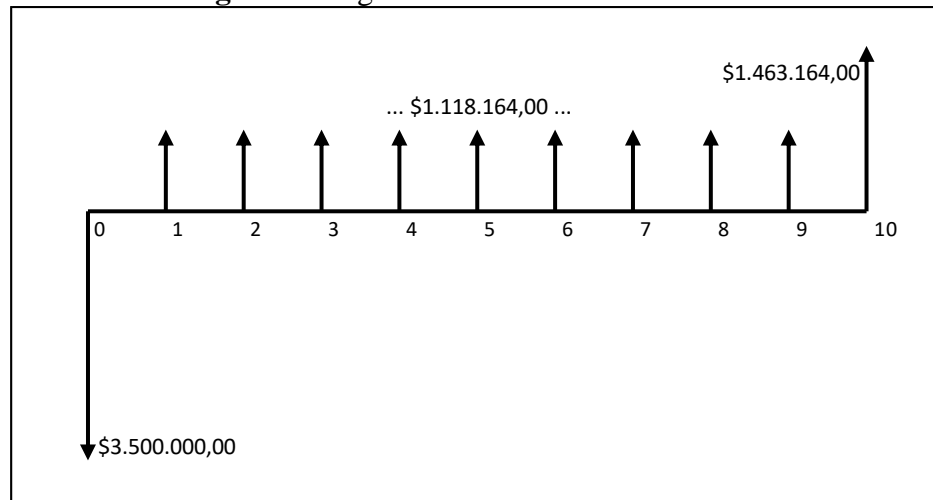
$$Payback = 3,13$$

O valor obtido indica que em pouco mais de três anos a empresa recuperaria todo o investimento do projeto, sendo considerado um período bastante atrativo.

Por último, considerando uma taxa de depreciação de 10% para os equipamentos que constituem o processo, obtemos seus valores estimados de venda após 10 anos de uso, com US\$180.000 para a Neutralização e US\$350.000 para a Recuperação.

Com estes valores e aqueles obtidos anteriormente, é possível montar um diagrama de fluxo de caixa, o qual facilita a visualização de entradas e saídas durante o período analisado. A Figura 2 demonstra o diagrama para o projeto estudado.

Figura 2 Diagrama de Fluxo de Caixa



Fonte: Autoria própria, 2016

Deste modo, é possível compreender a vantagem econômica em projetar e implantar um processo de recuperação de ácido clorídrico, em comparação com outro processo bastante utilizado, permitindo a visualização de sua atratividade através de indicadores confiáveis.

CONCLUSÃO

A implantação do processo siderúrgico no Brasil foi um dos grandes avanços atingidos na introdução de novas tecnologias e produção no país. Seus avanços foram caracterizados pela alta demanda e gerou, assim, o aumento na capacidade de produção, o que resultou na geração de novos procedimentos e operações, tanto para evitar problemas ambientais, como para diminuir gastos excessivos.

Antes do processo do tratamento e reutilização do ácido clorídrico, havia o descarte desses compostos, como cloreto ferroso, resultando em danos ao meio ambiente. Seus efeitos ambientais são diversos, afetando rios e cursos d'água, solo e a qualidade do ar quando liberados na forma gasosa.

Os fatos apresentados na análise econômica do processo acarretaram em uma diminuição de efluentes contendo alto teor de ácido clorídrico e óxidos, além da diminuição de ácido presente nos gases liberados no processo de decapagem. Sendo assim, esse ácido pode tratado e reutilizado no processo. Os resíduos de óxidos também podem ser tratados e comercializados. Já a água de lavagem é tratada e pode ser liberada como vapor para a atmosfera ou ser utilizada como fornecimento de energia em forma de calor.

Através da análise econômica realizada no processo de recuperação do ácido clorídrico na decapagem, pôde ser analisado através do método Valor Presente Líquido, que o mesmo apresenta uma grande vantagem econômica para a realização do tratamento, mesmo com implantações de novos equipamentos e manutenção. No caso dessas operações, obteve-se uma quantia de 99% de ácido clorídrico recuperado, diminuindo consideravelmente o gasto com esse produto, com redução de 600 mil dólares por ano. De acordo com o método VPL e payback, conclui-se que o processo de recuperação de ácido clorídrico na indústria siderúrgica é altamente atrativo, recuperando todo o investimento realizado no processo de decapagem em pouco mais de três anos.

Sendo assim, é possível entender a grande importância do estudo, entendimento e análise de processos alternativos, como a recuperação, para atender aos fatores econômicos e ambientais de uma organização, visto a quantidade de benefícios, vantagens e atratividade apresentada pelo método em questão.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO DO AÇO DO RIO GRANDE DO SUL. O aço, história da siderurgia. Disponível em: <<http://www.aars.com.br/?m=sessao&page=5>>. Acesso em: 16 de Março de 2016.

ABINOX. Coletânea de Informações Técnicas - Aço Inoxidável. Disponível em: <<http://www.abinox.org.br/upfiles/arquivos/biblioteca/tipos-de-acos-inoxidaveis.pdf>>. Acesso em: 17 de Março de 2016.

AGRAWAL, Aditya. A Review on Regeneration Process of Waste Pickling Acid at Steel Industries. Disponível em: <<http://www.researchpublish.com/download.php?file=A%20Review%20on%20Regeneration%20Process-797.pdf&act=book>>. Acesso em: 15 de Junho de 2016.

BETA CONTROL SYSTEMS. Sistemas de Recuperação de Ácido Clorídrico. Acesso em: <http://www.betacontrol.com/sites/default/files/uploads/file/HCl_literature/brochure%20HCl%20vacuum%20evaporation_Portuguese.pdf>. Acesso em: 20 de Agosto de 2016.

BRITISH STAINLESS STEEL ASSOCIATION. The basics about stainless steel. Disponível em: <http://www.bssa.org.uk/about_stainless_steel.php?id=1>. Acesso em: 22 de Março de 2016

HARON RESOURCES. ASX Release. Similus Scoping Study Results. Potencial Step Change for Kalgoorlie Nickel Project. 2014.

INTERNATIONAL MINE WATER. Limestone neutralization of Acid Fluid, including Metal and Partial Sulphate Removal. Division of Water. Environment and Forestry Technology. 2012.

INTERNATIONAL STAINLESS STEEL FORUM. Mechanical and physical properties. Disponível em: <http://www.worldstainless.org/what_is_stainless_steel/Mechanical_and_physical_properties>. Acesso em: 21 de Março de 2016.

METSEP. Technological excellence worldwide. Disponível em: <<http://www.metsep.co.za/Technology.htm>>. Acesso em: 22 de Outubro de 2016.

TELLES, P.C. Silva. Materiais para Equipamentos de Processo. 6ª edição. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003.

VITO EMIS. Venturi Scrubber. Disponível em: <<https://emis.vito.be/en/techniekfiche/venturi-scrubber>>. Acesso em: 13 de Julho de 2016.