UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Seminário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química
Oktober Fórum 2005 – PPGEQ 10 anos

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS CINÉTICOS E TERMODINÂMICOS DO PROCESSO DE REMOLHO

J. B. Passos [1], L. S. Severo[2], J.O.Trierweiler[2], M.Gutterres [2]

[1] Laboratório de Tecnologia do Couro e Estudos Ambiental (LACOURO)
[2] Grupo de Integração, Modelagem, Simulação, Controle e Otimização de Processos (GIMSCOP/LACIP)
Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
R. Eng. Luis Englert, s/n. Campus Central. CEP: 90040-040 - Porto Alegre - RS - BRASIL,
E-MAIL:{joana, severo, jorge, mariliz}@enq.ufrgs.br

Palavras Chaves: Remolho da pele, parâmetros cinéticos, parâmetros termodinâmicos.

Resumo: O conceito de reuso água consiste na determinação de uma rede de interconexões de correntes de água dentro dos processos, onde o consumo de água fresca é minimizado enquanto os processos recebem água de qualidade adequada.

A indústria do couro caracteriza-se por empregar grande quantidade de água nas diversas etapas do processo, já que muitas fases do tratamento da pele se realizam em fase aquosa e em regime de batelada. Estudos preliminares atestaram o potencial de aplicação de técnicas de integração mássica para minimização dos efluentes gerados pela indústria. Porém, para estimar o potencial de reutilização de correntes de processo é necessário um excelente conhecimento do mesmo. Este trabalho discutirá a etapa de remolho, do processo de ribeira para a preparação da pele para o curtimento, onde usualmente uma corrente de água fresca dissolve o sal presente na pele. A corrente de entrada pode conter uma concentração de cloreto de sódio, mas esta tem que ser tal que não prejudique a eficiência da dissolução do conteúdo presente na pele, mas, por outro lado, não precisa ser necessariamente água fresca. São questionados alguns parâmetros termodinâmicos e cinéticos necessários para a resolução do modelo proposto para essa etapa, uma vez que, para viabilizar o reúso de água, é necessário determinar as restrições do processo, ou seja, as concentrações de um contaminante na entrada e na saída desta operação unitária, ou mesmo o volume de água envolvido. A resolução do modelo demonstrou coerência com os dados da literatura e forneceu bons pontos de partida para uma integração mássica aplicada no processo de remolho.

1- INTRODUÇÃO

1.1 - Importância do reúso de água

O princípio da prevenção da poluição determina que a geração de resíduos perigosos seja evitada na fonte, a partir de reorientação do processo e do produto, de técnicas de reutilização, de reciclagem e de reaproveitamento dos materiais e dos co-produtos, da extensão da vida útil, do retorno garantido de embalagens e de produtos ao final de sua vida útil e outras estratégias. As tecnologias limpas são aquelas que reúnem as seguintes características: utilizam compostos não agressivos e de baixo custo, exigem menor consumo de reagentes, produzem pouco ou nenhum resíduo e permitem controle mais simples e eficiente de sua eliminação.

O conceito de reúso de água começou a ser estudado efetivamente no início da década de 80. Estudos começaram a ser realizados para resolver o problema de Planejamento de Distribuição de Águas e Efluentes, que consiste na determinação de uma rede de interconexões de correntes de água dentro dos processos, onde o consumo de água fresca é minimizado enquanto os processos recebem água de qualidade adequada. Neste contexto, surgiu a idéia de minimizar a quantidade de efluentes gerados durante o processo e realizar o tratamento no ponto onde é gerado, conhecido como tratamento distribuído. Em geral, o custo do tratamento de misturas de correntes com características diferentes é maior do que o custo do tratamento das correntes individuais.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2003), em função de condições de escassez em quantidade e/ou qualidade, a água deixou de ser um bem livre e passou a ter valor econômico. Esse fato contribuiu com a adoção de novo paradigma de gestão desse recurso ambiental, que compreende a utilização de instrumentos regulatórios e econômicos, como a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. A

experiência em outros países mostra que, em bacias que utilizam a cobrança, os indivíduos e empresas poluidoras reagem internalizando custos associados à poluição ou outro uso da água. A cobrança pelo uso de recursos hídricos, mais do que instrumento para gerar receita, é indutora de mudanças pela economia da água, pela redução de perdas, pela gestão com justiça ambiental. Isso porque cobra-se de quem usa ou polui. A ANA vem desenvolvendo ações para implementação da cobrança pelo uso de recursos hídricos no Brasil.

A indústria do couro caracteriza-se por empregar grande quantidade de água nas diversas etapas do processo, já que muitas fases do tratamento da pele se realizam em fase aquosa e em regime de batelada. Os processos são alimentados com correntes novas de águas, mesmo para banhos de lavagens, desta forma, há um custo significativo no tratamento desses efluentes, visando o enquadramento nos padrões da legislação.

Para estimar o potencial de reutilização de correntes de processo é necessário um excelente conhecimento do mesmo. Os parâmetros termodinâmicos e cinéticos serão determinantes na especificação das correntes envolvidas no processo (entrada e saída). Este trabalho discutirá a etapa de remolho, do processo de curtimento de peles, onde uma corrente de água fresca dissolve o sal presente na pele. A corrente de entrada pode conter uma concentração de cloreto de sódio, mas esta tem que ser tal que não prejudique a eficiência da dissolução do conteúdo presente na pele, mas por outro lado essa não precisa ser necessariamente água fresca.

1.2 - Remolho

O remolho pode ser conceituado como processo de limpeza e reidratação das peles. Os principais objetivos do remolho são interromper a conservação da pele e retorná-la, o máximo possível, ao estado de pele fresca; reidratar a pele uniformemente em toda a sua superfície e espessura; extrair as proteínas globulares; retirar os produtos químicos eventualmente adicionados durante a conservação; extrair materiais (como sangue, sujeiras e esterco) e preparar as peles adequadamente para as operações e processos seguintes.

O processo de remolho estudado é realizado em fulões. O remolho deve ser feito no menor tempo possível, já que ele interrompe o processo de conservação favorecendo o ataque de bactérias (que precisam de água para sua reprodução).

O remolho é uma etapa de suma importância para o couro. Um remolho mal feito ou insuficiente pode ocasionar sérios inconvenientes para os processos seguintes, resultando em problemas de qualidade para o couro. Alguns dos problemas são: manchas, flor solta e couro armado. Isto é explicado pelo fato de todos os produtos químicos, utilizados na depilação, curtimento e tingimento, penetrarem na pele por meio da água. Assim, nas zonas da pele mal remolhada a água não penetra tão facilmente como nas zonas bem remolhadas onde são depositadas maiores quantidades de produtos.

No banho de remolho a dissolução do sal que se encontra na superfície da pele na forma cristalina é muito rápida e não apresenta muitas complicações. O sal contido no interior da pele para sair para o banho exterior tem que difundir por gradiente de concentração salina e por efeito mecânico. A derme atua como uma barreira para a saída dos produtos solúveis e toda o sal tem que sair pelo lado da carne.

1.2.1 - Fatores que influenciam no banho de remolho

i) Agitação

No caso de peles secas e dependendo do tipo, classe e espessura da pele deve-se colocar em banho estático durante um período que pode oscilar entre 5 a 48 horas, antes de se iniciar o movimento das peles, para evitar a ruptura das fibras que prejudicam a qualidade das peles. No remolho estático a água penetra ate o interior das fibras do couro e proporcionam certa flexibilidade, a partir desse momento as peles podem se mover. No couro salgado não existem esses problemas e as pele podem mover-se imediatamente após colocar no fulão.

ii) Temperatura

O aumento de temperatura favorece a velocidade de dissolução do sal assim como a hidratação das fibras da pele. Não obstante se observa que o aumento da temperatura do banho de remolho aumenta a quantidade de substância dissolvida da pele. Porém, a utilização de banho de remolho de alta duração e a temperaturas superiores a 25ºC, prejudica a qualidade das peles.

1.3 - Considerações gerais da dissolução de um cristal em líquido

O cloreto de sódio ($NaCl$) é uma substancia sólida formada por íons que se unem num retículo

cristalino cúbico. Quando colocamos cloreto de sódio na água, a extremidade negativa de algumas moléculas de água procura "arrancar" os íons Na^+ do retículo cristalino, e a extremidade positiva de outras moléculas de H_2O procuram "arrancar" os íons de Cl^- do retículo. A água vai desmontando o retículo cristalino do $NaCl$ e os íons Na^+ e Cl^- passam para a solução cada um deles rodeado por varias moléculas de água. Chama-se esse fenômeno de solvatação de íons. A atração entre os íons de sódio e cloreto hidratado e os cristais remanescentes se torna tão pequena que os íons não são mais "presos" ao cristal. Eles são gradualmente transportados para longe dos cristais dentro da solução. Esta separação dos íons um do outro é chamada de dissolução, como vemos na Equação 01.

$$NaCl_{(s)} \xrightarrow{H_2O} Na^+{}_{(aq)} + Cl^-{}_{(aq)} \quad (01)$$

A seta indica o sentido espontâneo do processo. Na Equação 01, as notações (s) e (aq) representam o estado físico da espécie: (s) é o estado sólido e (aq) é abreviatura de aquoso, mostrando que os íons estão hidratados, como ilustrado na Figura 01.

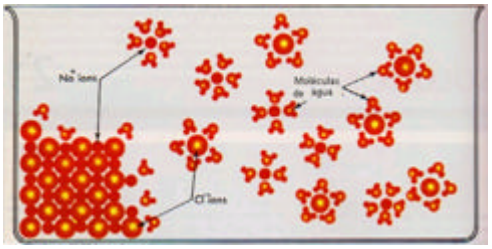

Figura 01: Ilustração do processo espontâneo de dissolução de cristais de cloreto de sódio.

.

2 - MODELO PROPOSTO PARA O PROCESSO DE REMOLHO

A dissolução de um cristal em um liquido é devido à instabilidade deste provocada pela presença de uma segunda fase e requer transferência de massa (que inclui difusão e convecção) e reação na interface. A taxa de dissolução do cristal pode ser, portanto, controlada tanto pela reação na interface quanto pela transferência de massa, ou pela combinação de ambas. Quando o transporte mássico controla a taxa de reação, isto é, quando a transferência de massa é lenta e a reação na interface é rápida, há um gradiente de concentração na fase líquida, e na interface líquido/sólido há o equilíbrio entre as fases, com uma pequena subsaturação como força motriz do processo de dissolução. Neste caso, agitação da solução pode aumentar a taxa de dissolução. Quando a reação na interface é a etapa controladora, o gradiente de concentração é zero e a interface está subsaturada (linha horizontal do sólido na Figura 02). Neste caso, agitação da solução não impactaria na taxa de dissolução. Quando ambos os processos influenciam na taxa, o perfil de concentração pode estar entre a curva tracejada e a linha de sólido na Figura 02.

Por causa do coeficiente de difusão para diferentes espécies de solutos em água não diferem significativamente (~10^{-9} m^2/s, Cremasco), se a dissolução de um cristal em água é controlada por reação na interface ou transferência de massa, primeiramente é determinada a taxa de reação e esta por sua vez é primeiramente controlada pelas forças de ligação do cristal. Se as ligações são fracas e, portanto, fáceis de quebrar, então a taxa de reação na interface seria alta, e a dissolução seria controlada pela transferência de massa. Se, por outro lado, as ligações são fortes e, por isso, difíceis de serem quebradas, a taxa de reação na interface seria lenta e a dissolução seria controlada por essa etapa.

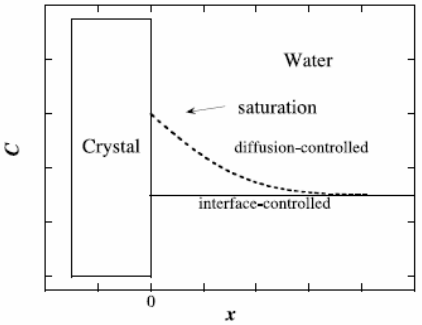

Figura 02: Diagrama do perfil de concentração durante a dissolução do cristal controlada tanto pela transferência de massa (curva tracejada) ou pela reação interface (linha horizontal sólida).

.

2.1 - Modelo proposto onde à reação química é a etapa controladora

O fluxo de massa que flui da interface sólido-líquido para o seio da fase líquida (Equação 02) é igual à taxa da reação de dissolução na superfície externa do cristal (no raio externo, exemplificando geometria esférica), Equação 03.

$$N^L = k_m \cdot c(x^I - x^L) \quad (02)$$

$$N^L\big|_{r=R} = (-r'') \quad (03)$$

A reação de dissolução pode ser representada pela Equação 04

$$A(NaCl_{(s)} \underset{K2}{\overset{K1}{\rightleftarrows}} B(NaCl_{aq}) \quad (04)$$

$$r_b = \frac{dC_b}{dt} = k_1 C_s - k_2 C_b \quad (04^*)$$

$$\frac{dC_b}{dt} = k_1 (C_{so} + C_{bo}) - C_b (k_1 + k_2) \quad (05)$$

$$K = \frac{k_1}{k_2} \quad (06)$$

$$\frac{dC_b}{dt} = k_1 (C_{so} + C_{bo}) - C_b \left(\frac{K+1}{K} \right) \quad (07)$$

Integrando a Equação 07 da concentração inicial de cloreto de sódio do banho até uma concentração C^*_b obteve-se a Equação 09.

$$\int_{C_{bo}}^{C_b} \frac{dC_b}{(C_{bo} + C_{so}) - \left(\frac{K+1}{K} \right) C_b} = k_1 dt \quad (08)$$

$$\ln \left[\frac{(C_{bo} + C_{so}) - \left(\frac{K+1}{K} \right) C_b}{(C_{bo} + C_{so}) - \left(\frac{K+1}{K} \right) C_{bo}} \right] = -\left(\frac{K+1}{K} \right) k_1 t \quad (09)$$

3 - DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS TERMODINÂMICOS E CINÉTICOS DOS MODELOS

3.1 – Parâmetros Termodinâmicos

i) Equilíbrio Sólido-Líquido e Solubilidade

A solubilidade é um conceito muito importante tanto em química como em engenharia química. Apesar de em engenharia química ser de maior importância a solubilidade Líquido-Gás, existem ainda diversos campos de atividade que envolvem a solubilidade Sólido-Líquido

No equilíbrio entre o soluto e o solvente, fases sólidas e líquidas, respectivamente, tem-se a condição de isofugacidade, Equação 10. Se o sólido (s) é uma substância pura em contato com a água (w), o equilíbrio é descrito pela Equação11.

$$f_i^s = f_i^l \quad (10)$$

$$f_i^{s,o} = g_i^w \cdot x_i^w \cdot f_i^{l,o} \quad (11)$$

onde $f_i^{s,o}$ é a fugacidade do sólido puro *i*, enquanto $f_i^{l,o}$ é a fugacidade do líquido puro *i*.

Então a solubilidade de saturação é dada pela Equação 12.

$$x_i^* = \left(\frac{1}{g_i^*} \right) \cdot \left(\frac{f_i^{s,o}}{f_i^{l,o}} \right) \quad (12)$$

Da Equação 11 verifica-se ainda que a solubilidade depende não só do coeficiente de atividade do soluto (γ_i), mas também da fugacidade do sólido puro (f_i^S).

A razão dos coeficientes de fugacidade pode ser determinada pela Equação 13 (Prausnitz *et al*. 1999).

$$\frac{f_i^{s,o}}{f_i^{l,o}} \cong \exp\left[-\frac{\Delta H_m}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_m} \right) \right] \quad (13)$$

A Equação 13 pode ser ainda rearranjada se supostas algumas simplificações:

i) Admite-se que as pressões de vapor do sólido puro e do líquido subresfriado são baixas, pode-se substituir as pressões de vapor pelas fugacidades, sem com isto cometer um grande erro. Neste caso têm-se as Equações 14 e 15.

$$f_i^{s,o} = P_i^{s,o} \quad (14); \qquad f_i^{l,o} = P_i^{l,o} \quad (15)$$

ii) Se a natureza do solvente for semelhante à do soluto, pode-se aceitar que . $g_i = 1$

Conjugando as duas simplificações, obtém-se a Equação 16 que representa a solubilidade "ideal" do componente *i* no líquido.

$$x_i = \frac{P_i^{s,o}}{P_i^{l,o}} \quad (16)$$

A Equação (16) é utilizada para definir a concentração do cloreto de sódio cristalino em equilíbrio com o banho, ou seja, x^I na Equação (02).

Entretanto, em dado momento o sal não se dissolve mais, ou seja, a solução está saturada No caso do cloreto de sódio, isto acontece quando se tem mais ou menos 360g/l, a partir dessa quantidade todo o sal que for adicionado vai precipitar ou se depositar no fundo do recipiente, dizemos então que a solução está saturada. A saturação depende do soluto, do solvente e das condições de temperatura e pressão. Veja a curva de saturação para o cloreto de sódio na Figura 03.

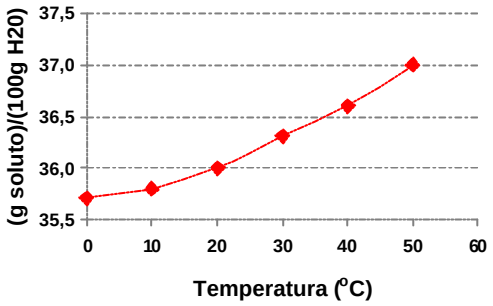

Figura 03: Curva de saturação do *NaCl* (Fonte: Perry).

ii) Equilíbrio químico

$$aA + bB \Leftrightarrow xX + yY$$

Para cada reação existe uma constante termodinâmica de equilíbrio que só depende da temperatura e, que para o caso do equilíbrio acima, é dada pela Equação (17), onde *a* representa a atividade de cada componente elevada ao respectivo coeficiente estequiométrico.

$$K = \frac{a_x^x a_y^y}{a_A^a a_B^b} \quad (17)$$

A determinação experimental direta da constante termodinâmica de equilíbrio é de difícil execução e muitas vezes impossível, pois nem sempre se pode chegar ao cálculo das atividades dos diversos participantes do sistema.

Muito mais acessível à determinação experimental é a chamada constante estequiométrica de equilíbrio, que ao invés do uso das atividades utiliza as concentrações elevada ao respectivo coeficiente estequiométrico.

Se por um lado a constante termodinâmica de equilíbrio de uma dada reação só depende da temperatura, a constante estequiométrica de equilíbrio depende também daqueles fatores que afetam os coeficientes de atividade dos participantes da reação, em especial da concentração dos mesmos. No caso de reação entre íons em solução, este efeito é medido de um modo global pela chamada força iônica do meio. Assim sendo, a constante estequiométrica de equilíbrio, para uma reação iônica em solução, só terá um valor unívoco se forem fixadas a temperatura e a força iônica do meio.

a)Efeito da temperatura sobre a constante de equilíbrio

O efeito da temperatura sobre a constante de equilíbrio está descrito na Equação 18. Se ΔH^0 for negativo, isto é, se a reação for exotérmica, a constante de equilíbrio diminui com o aumento da temperatura. Ao contrário, em uma reação endotérmica a constante aumenta com a temperatura.

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta H^0}{RT^2} \quad (18)$$

Um ponto de partida conveniente para a dedução rigorosa do efeito da temperatura sobre a constante de equilíbrio é a relação geral.

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0 \quad (19)$$

Esta equação vem da definição da energia de Gibbs, (*G=H-TS*), aplicada a cada espécie envolvida na reação química no seu estado padrão à temperatura T.

b)Efeito da composição sobre a constante de equilíbrio

A constante de equilíbrio K é função somente da temperatura. Entretanto, a Equação 20 relaciona K às fugacidades das espécies na reação como elas existem na mistura real em equilíbrio. Estas fugacidades refletem as não idealidades da mistura em equilíbrio e as funções da temperatura, da pressão e da composição. Isto significa que, para uma temperatura especificada, a composição no equilíbrio deve variar com a pressão de tal forma que $\prod_i \left(f_i / P^0 \right)$ permaneça constante.

$$K = \prod_i \left(\frac{f_i}{P^0} \right) \quad (20)$$

A pressão em soluções é representada pela Lei de Van't Hoff que faz uma analogia com a Lei dos Gases ideais. Van't Hoff postula que a pressão osmótica produzida por uma substância dissolvida é igual que a pressão exerceria se estivesse sozinha no estado gasoso sobre a mesma condição de temperatura e volume, e é independente da natureza do solvente. Veja Equação (21).

$$p(x,t) = RT \sum_n C_n(x,t) \quad (21)$$

3.2 - Parâmetros cinéticos

A finalidade principal da cinética das reações em sistemas contínuos ou descontínuos é a determinação da taxa de reação, sua variação com a concentração e temperatura. É, portanto, fundamental determinar os parâmetros cinéticos, ou seja, a velocidade de específica da reação e a ordem da reação e a ordem de reação.

Evidentemente, esta determinação só pode ser feita com o auxílio dos dados experimentais.

Método Integral de análise dos dados experimentais

Método mais utilizado, determinando-se explicitamente a concentração em função do tempo. Parte-se de um modelo cinético, admitindo-se uma reação elementar de ordem hipotética, escrevendo-se a taxa de reação correspondente e integrando-se a expressão resultante.

Se os resultados experimentais satisfazem à equação integrada da taxa, então o modelo cinético inicialmente proposto é válido. Caso contrário formula-se um outro modelo e repete-se o procedimento.

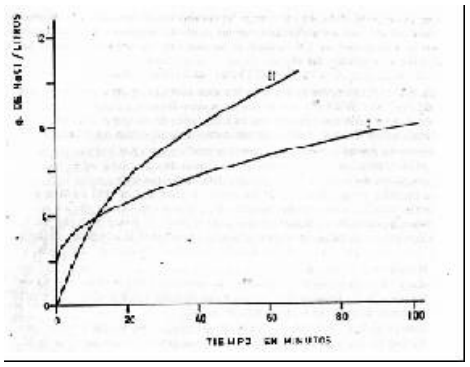

Figura 04: Curva Concentração de cloreto de sódio no banho (g/l) versus tempo (min) (Fonte: Tecnica de Teneira).

A Figura 04 apresenta um gráfico que registra a variação do cloreto de sódio ao longo do tempo do processo de remolho de peles salgadas. Na curva I se observa que o sal superficial se dissolve rapidamente e que o tempo necessário para alcançar o equilíbrio é bastante grande. A curva II, que corresponde a uma pele a qual se tinha eliminado o sal superficial, na etapa inicial a concentração salina do banho é inferior, mas ao final de 10 minutos alcança o mesmo valor da curva I e depois o ultrapassa.

Uma parte do sal do interior da pele deve se encontrar ligada aos grupos iônicos do colagênio por forças eletrostáticas. Como os grupos iônicos do colagênio são insolúveis retém fortemente os íons cloro e sódio que são solúveis na solução. Por diluição podemos retirar a maior parte do cloreto de sódio presente na pele, trocando o banho repetidas vezes.

Da Figura 04 conseguiu-se extrair os pontos relacionados na Tabela 01 e aplicou-se o método integral para determinar as constantes cinéticas da taxa de dissolução, através da Equação 11 linearizada. A constante de equilíbrio adotada foi de 1,7 [Ver referência 6].

Tabela 1: Dados experimentais obtidos da Figura04 (Fonte: Tecnica de Teneira).

t(min)	Cb(g/l)
0	0,0
5	2,0
10	3,8
15	5,0
20	5,8
30	7,0
40	8,2
50	8,5
60	8,8

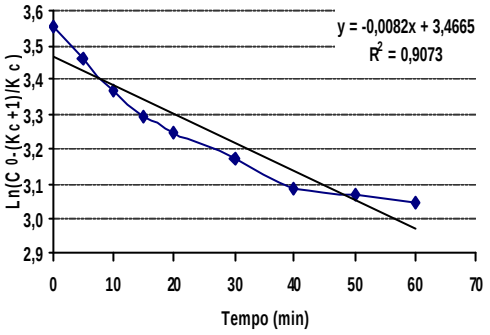

Figura 05: Gráfico obtido a partir da Equação 09 .

A partir da equação da reta da Figura 05, foi possível determinar a constante cinética da reação direta de dissolução, Equação 22. Sabendo a constante de equilíbrio, pela Equação 06 definiu-se a constante cinética da reação inversa, Equação 23.

$$k_1 = 0{,}0082 \text{ min}^{-1} \quad (22)$$

$$k_2 = 4{,}83 \cdot 10^{-3} \text{ min}^{-1} \quad (23)$$

As constantes cinéticas são funções da temperatura através da Equação de Arrhenius, Equação (24).

$$k = k_o \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \quad (24)$$

4 - RESOLUÇÃO DO MODELO CINÉTICO

De posse das constantes cinéticas, é possível trabalhar com a Equação 09 e ver o comportamento cinético frente a diferentes concentrações iniciais, tanto de sal na pele quanto de sal no banho, supondo o reúso de uma corrente de processo.

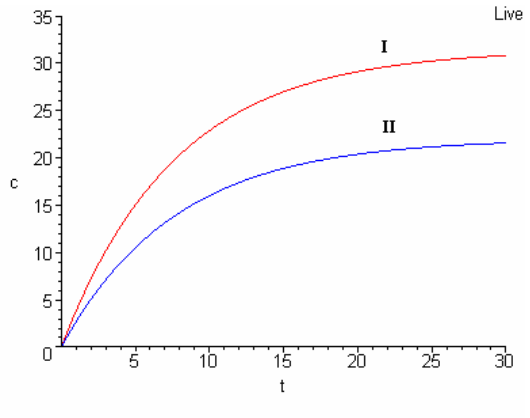

Figura 06: Concentração de cloreto de sódio no banho (g/l) *vs* tempo (min).

A curva II na Figura 06 diz respeito há uma concentração inicial de sal na pele de 35g/l, enquanto a curva I de 50g/l. Em ambas as curvas a concentração de sal no banho no instante inicial é nula.

Para obter a Figura 07 mantiveram-se as concentrações de sal na pele, 35 e 50g/l nas curvas I e II, respectivamente, mas adicionou-se 10g/l de sal no banho. Nota-se apenas uma elevação da concentração final no banho, pois, ora, o conteúdo de sal presente no sistema é maior. Entretanto percebe-se que o comportamento segue um comportamento tipicamente de processos de 1ª ordem.

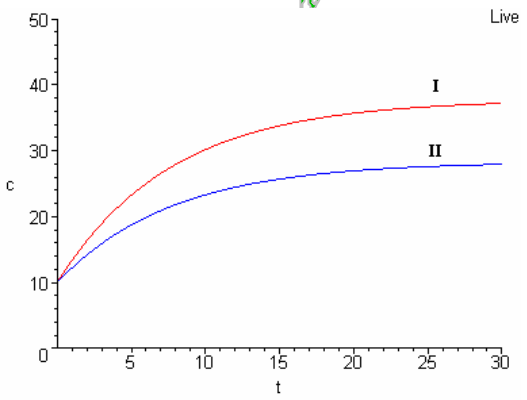

Figura 07: Concentração de cloreto de sódio no banho (g/l) *vs* tempo (min).

Na Figura 08 aumentou-se a concentração inicial de sal no banho até atingir a mesma concentração inicial da pele (curva II) e em seguida ultrapassou-se esta (curva I). O equilíbrio é atingido mais rapidamente e não se consegue extrair da pele uma quantidade expressiva de sal da pele.

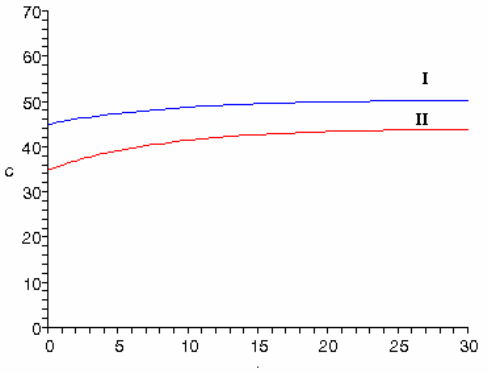

Figura 08: Concentração de cloreto de sódio no banho (g/l) *vs* tempo (min).

Analisaram-se os gráficos das Figuras 06, 07 e 08 observou-se um comportamento similar, entretanto quando se aumentou à concentração de sal no banho a eficiência da dissolução do conteúdo da pele foi diminuída. A Tabela 02 relaciona a concentração do banho no instante de 15 min para todos os cenários anteriores. A percentagem associada à eficiência do processo foi estimada considerando 100% se todo o sal presente inicialmente na pele, estivesse em solução aquosa neste instante.

Tabela 02: Dados comparativos entre as curvas das Figuras 06, 07 e 08.

t =15 min	*Cs* =35 g/l	*Cs= 50g/l*
C_b=0	25g/l ⇔ 72 %	35 g/l ⇔ 70%
C_b=10 g/l	17,5g/l ⇔ 50%	27,5g/l ⇔ 50%
C_b=35 g/l	7 g/l ⇔ 20%	
C_b=45 g/l	2 g/l ⇔ 4%	

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

? Dois modelos para a etapa de remolho de peles foram propostos e algumas variáveis envolvidas nestes foram discutidas;

? Para escolher um modelo a partir de muitos que são disponíveis, este tem que pesar a complexidade do modelo com o grau de dificuldade associado em sua solução.

? O fenômeno de dissolução do cloreto de sódio na etapa de remolho na prática não requer muito detalhismo para ser interpretado, entretanto, neste trabalho serviu como exemplo de como trabalhar com alguns parâmetros importantes na especificação de limites de reaproveitamento de correntes de processo.

? O potencial de reúso de correntes de processo na indústria de couros já foi avaliado (FARENZENA, 2004). Com a análise cinética vê se que uma quantidade de até 10% de sal na corrente de entrada reduz a eficiência do processo, mas não significativamente, indicando uma possível alternativa de reuso nessa etapa.

? O modelo de transferência de massa não foi resolvido devido à indisponibilidade de dados referentes à área de contato entre as fases (área interfacial do retículo cristalino) e também porosidade da pele onde se adsorvem os cristais de sal.

MONENCLATURA

Símbolo	*Definição*	*Unidade*
N	*Fluxo mássico*	*mol/(m^{2}min)*
k_m	*Coeficiente de transferência de massa*	*m/min*
c	*Concentração*	*mol/m^3*
x	*Fração mássica*	*adimensional*
Sh	*Número de Sherwood*	*adimensional*
Sc	*Número de Schmidt*	*adimensional*
Re	*Número de Reynolds*	*adimensional*
r	*Taxa de reação*	*mol/min*
L	*Comprimento característico*	*m*
D	*Coeficiente de Difusão*	*m^2/min*
u	*Velocidade média*	*m/min*
?	*Viscosidade cinemáica*	*m^2/min*
k	*Constante cinética*	*min^{-1}*
K	*Constante de Equilíbrio*	*adimensional*
t	*Tempo*	*min*
f	Fugacidade	*Pa*
P	*Pressão*	*Pa*
?	Coeficiente de atividade	*adimensional*
R	Constante dos gases	*(Pa · m^3)/(mol · K) Ou (J/mol·K)*
?H	Variação de entalpia	*J/mol*
T	Temperatura	*K*
a	atividade	*mol/m^3*
G	Energia livre de Gibbs	*J/(mol·K)*
S	Entropia	*J/(mol·K)*
Subscritos		
s	Fase sólida	
L	Fase líquida	
i	Relativo a uma espécie	
I	Interface	
b	Bulk	

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[01] AQUIM, P.M., GUTTERRES, M., *et al*. Balanço de massa nos processos de ribeira e curtimento, 2004.

[2] ADZET, J. M.QUIMICA – Técnica de Teneria, 1986.

[3]VALSARAI, K. T. Elements of Environmental Engineering – Termodynamicas and Kinetics, 2000.

[4] CREMASCO, M. A. Fundamentos da Transferênica de massa, 1998.

[5] FARENZENA, M., FERREIRA, L.S. *et al*, Curtumes: do Desperdício à Sustentabilidade, 2004.

[6]http://www.sci.ccny.cuny.edu/biology/courses/bio207/tut1.htm.

[7] Perry' Chemical Engeneering's Handbook.