

ASPECTOS ECONOMICOS E TÉCNICOS DA QUEIMA DE LODO BIOLÓGICO EM CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO NA CENIBRA: UMA EXPERIÊNCIA PIONEIRA NO BRASIL

COSTA, M. M.*; GOMES, A. J.*; PAOLIELLO, F.*; LANDIM, A. B.*; BISSIATI, J. I.*; BEM, E. C.*; SILVA, C. M.**

*Celulose Nipo-Brasileira S/A – CENIBRA

**Universidade Federal de Viçosa - UFV

RESUMO

Localizada em Belo Oriente – M.G., Brasil, a fábrica de celulose CENIBRA produz 805.000 tsa/ano de polpa kraft branqueada de *Eucalyptus* spp, em duas linhas de produção. O efluente industrial é enviado para uma estação de tratamento biológico de lodos ativados, com capacidade de processar 48 t DBO₅/d, produzindo cerca de 33 t/d de lodo biológico. Originariamente, o lodo biológico proveniente dos decantadores secundários era desidratado, e enviado para disposição final no aterro sanitário industrial. Posteriormente, após estudos de viabilidade técnica, o lodo passou a ser encaminhado para os plantios comerciais de *Eucalyptus* spp, de forma a atuar como coadjuvante de solos. Para este tipo de disposição final, incluindo os custos de desidratação e transporte do lodo até a floresta, eram gastos aproximadamente US\$ 75.500/mês. O alto custo durante sua aplicação, sinalizou a necessidade de se criar uma forma alternativa de disposição final do lodo que fosse sanitariamente e ambientalmente adequada. Optou-se pela queima do lodo biológico na caldeira de recuperação, após a sua mistura com o licor preto fraco antes da evaporação. Essa alternativa foi viabilizada operacionalmente em agosto/98, após o desenvolvimento de um estudo técnico preliminar. Os principais pontos avaliados nesse estudo, além do incremento da carga na planta de evaporação, foram a constituição química e o poder calorífico do lodo biológico. Após um ano de operação de queima do lodo biológico na caldeira de recuperação, constata-se que o principal problema tem sido relacionado à entrada e ao acúmulo de elementos não processáveis (ENP) no ciclo de recuperação.

Palavras-Chave: *queima de lodo biológico, lodos ativados, sistema de recuperação, processo de polpação kraft, fechamento de circuito, elementos não processáveis.*

ABSTRACT

Located in Belo Oriente - M.G., Brazil, CENIBRA pulp mill produces 805,000 adt/year of *Eucalyptus* spp bleached kraft pulp in two production lines. An activated sludge treatment plant has a capacity to process 48 t BOD₅/d, and produces approximately 33 t/d of biological sludge. Originally, the sludge was sent to an industrial landfill. After preliminary technical studies, the sludge started to be applied into the Eucalyptus forest, as soil conditioner. This operation had a cost of approximately US\$ 75,500 / month including the sludge dewatering and transportation. In addition to the high cost, an alternative disposal method was studied. The option was to burn the sludge in the recovery boiler after mixing it with the weak black liquor. The combustion of the sludge in the recovery boiler started up in August 1998 after a preliminary technical study. The main objective of the present study, besides the determination of the increment on the evaporation load, was to determined the chemistry constitution and the calorific power of the biological sludge. After one year of mill operation, the main problem caused by the combustion of biological sludge in the recovery boiler is related to the input of the non-process elements (NPE's) in the recovery cycle.

Keywords: *biological sludge disposal, combustion of sludge, recovery system, kraft pulp mill, closed-cycle system, non-process elements, Eucalyptus spp.*

22

1. INTRODUÇÃO

Com duas linhas de produção, a CENIBRA tem capacidade de produção de 805.000 tsa/ano de celulose kraft branqueada de *Eucalyptus* spp. Na linha 1, cuja operação foi iniciada em 1977, utiliza-se cozimento contínuo convencional e branqueamento *standard* – (C+D)EoHDED. A linha 2 iniciou sua produção em 1995, utilizando um cozimento ITC (*Isothermal Cooking*), pré-deslignificação com oxigênio em único estágio e branqueamento ECF (*Elemental Chlorine Free*) – DEoDD.

O tratamento biológico do efluente industrial de ambas as linhas de produção é realizado pelo processo convencional de lodos ativados. Neste processo a matéria orgânica dissolvida e coloidal biodegradável é removida do efluente através do metabolismo biológico aeróbio. O oxigênio introduzido no reator biológico através de aeradores superficiais é utilizado pelos microrganismos e novas células são formadas. Nitrogênio e fósforo são adicionados como nutrientes, com a finalidade de promover a síntese celular e, conseqüentemente, remover os compostos orgânicos biodegradáveis dos efluentes.

Um dos maiores inconvenientes deste tipo de tratamento biológico consiste na geração excessiva de lodo biológico que necessita ser removido, tratado e descartado. As principais formas de tratamento e disposição do lodo biológico provenientes de estações de tratamento são apresentadas no Quadro 1^[1].

Quadro 1 – Principais métodos de processamento e disposição de lodo biológico

Tratamento	Tipo	Objetivo
Adensamento	Espessador por gravidade	Remoção de água, redução de volume
	Flotação	
	Centrifugação	
Estabilização	Digestão aeróbia	Estabilização e redução de massa
	Digestão anaeróbia	
Desidratação	Filtro a vácuo	Remoção de água, redução de volume
	Prensa (belt press)	
	Centrífuga	
	Leito de secagem	
	Lagoa de secagem	
Compostagem	Leiras de compostagem	Estabilização, redução de massa
Redução térmica	Incineração	Redução de volume, geração de energia
Disposição final	Tipo	Objetivo
Aterramento	Aterro sanitário	Disposição final
Aplicação no solo	irrigação	Coadjuvante de solos

Na indústria de celulose sulfato as principais formas de disposição final e tratamento são: (1) aterro sanitário, (2) compostagem (3) utilização no solo como fertilizante e (4) queima em caldeira de recuperação^[2]. De maneira geral, essas alternativas possuem suas vantagens e desvantagens. Entretanto, na CENIBRA, sob o ponto de vista da análise econômica, o envio do lodo biológico para a caldeira de recuperação tem-se mostrado uma alternativa mais viável economicamente.

A queima do lodo biológico na caldeira de recuperação do processo kraft apresenta três potenciais problemas operacionais: (1) entupimento na evaporação, (2) acúmulo de elementos não processáveis (ENP), e (3) aumento da geração de dregs e grits. Esses problemas dependem em grande parte da composição química do lodo biológico ^[9]. Características do processo tais como tipo de madeira, processo de polpação, seqüência de branqueamento e aditivos de processo são os principais fatores que influenciam na constituição química do lodo biológico.

Dentre os problemas citados, maior atenção vem sendo dada ao acúmulo dos ENP, que tem como conseqüência direta o incremento da carga de dregs e grits. Entre os ENP, os que vêm causando maior preocupação, pelo seu contínuo acúmulo no sistema são os íons de cloreto, potássio e fósforo.

De um modo geral, os principais problemas causados pela alta concentração de cloretos e potássio no ciclo de recuperação se resumem à problemas de incrustações e de corrosão nas tubulações da caldeira, bem como na contínua recirculação destes inertes no processo ^[4].

A entrada de cloreto no sistema de recuperação, devido a queima do lodo biológico, pode ser reduzida em até 83%, caso ocorra um maior desaguamento do lodo biológico de 0,84% para 5% de sólidos ^[9]. Os íons de cloreto e potássio, devido a sua grande volatilidade, tendem a se acumular nas cinzas do precipitador eletrostático, sendo este um ponto estratégico para a sua remoção ^[5]. Existe uma série de processos disponíveis no mercado que apresentam uma eficiência aceitável na remoção de cloreto e potássio das cinzas do precipitador eletrostático ^[6-11].

Além dos íons cloreto e potássio outros ENP, tais como os íons de P, Si, Mg e Al podem acumular no sistema de recuperação, principalmente na caustificação (ciclo do cálcio) ^[12]. Esses elementos se acumulam na forma de compostos inorgânicos, aumentando a carga inerte na circulação da lama. Uma das formas do controle destes elementos se dá pela remoção da lama, com posterior reposição de calcário ou cal ^[13].

O efeito negativo que os íons de P e Si têm na eficiência da reação de calcinação do forno é bem conhecido. Em torno de 1% de Si e 1% de P (base peso) na lama decresce a CaO útil em 6 e 5%, respectivamente. A sílica tem alta solubilidade no licor branco em torno de 15 mmol*L⁻¹ como íons silicato - SiO₂(OH)₂⁻. Na presença de concentrações superiores à solubilidade dos íons silicato, silicato de cálcio (CaSiO₃) é precipitado na caustificação e sai na forma de grits. Enquanto o fosfato de cálcio é acumulado no ciclo da lama, pois este é muito mais solúvel no licor verde do que no licor branco ^[12,14].

Por outro lado, salvo algum distúrbio significativo nas proporções destes elementos, o Al e o Mg são removidos do sistema um pelo outro. Esses elementos, mais carbonato, formam um composto insolúvel em meio alcalino denominado "hydrotalcite" - Mg_{1-x}Al_x(OH)₂(CO₃)_{x/2} * nH₂O_(s) onde x corresponde a valores na faixa de 0,1 a 0,34 ^[12]. Este composto pode sair através da decantação ou filtração do dregs, juntamente com outros elementos de menor solubilidade em meio alcalino (Fe, Mn, Cu, Ba, etc.). Um dos principais pontos de remoção dos ENP do processo se dá pela eficiente remoção dos dregs ^[12,14]. Visando aumentar a eficiência de remoção de dregs do sistema tem-se basicamente três opções: (1) adição de flocculantes apropriados, (2) adição de cal e (3) filtração ^[13].

A redução de fósforo no sistema pode ser alcançada com a minimização da dosagem de fósforo no reator biológico e conseqüente redução nos teores de fósforo no lodo biológico. Este

trabalho tem sido desenvolvido através de estudos de otimização da estação de tratamento na CENIBRA.

2. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é o de apresentar e analisar a experiência operacional de cerca de um ano da CENIBRA na queima de lodo biológico na caldeira de recuperação, mostrando os principais impactos no sistema de recuperação dos químicos, bem como na economia resultante da escolha desta opção de tratamento do lodo biológico.

3. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

A CENIBRA possui uma estação de tratamento de efluentes de lodos ativados, conforme apresentado na Figura 1, que gera cerca de 33 t/d de lodo biológico. O sistema é constituído de duas plantas em paralelo independentes entre si a partir dos tanques de aeração, tendo cada um o volume de 20.000 m³ seguidos por dois decantadores secundários perfazendo uma área de 3.620 m².

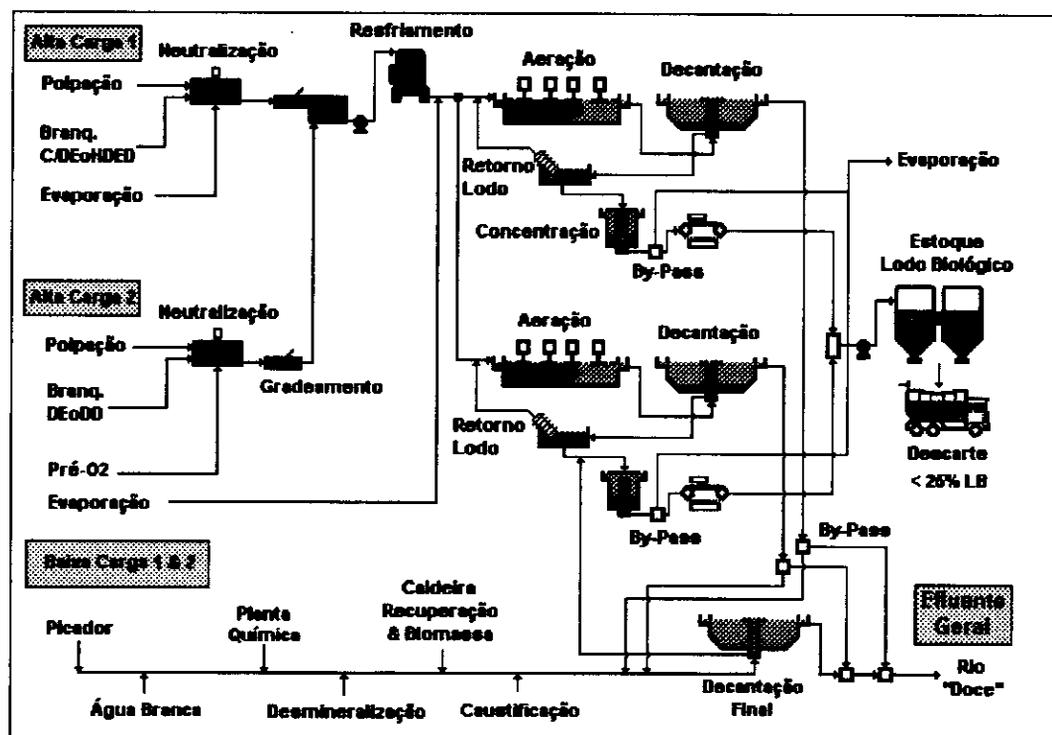


Figura 1 - Esquema simplificado do tratamento biológico por lodos ativados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Viabilidade econômica da queima de lodo biológico na caldeira de recuperação

Originariamente, o lodo biológico proveniente dos decantadores secundários era desidratado e enviado para disposição final no aterro sanitário industrial. Posteriormente, após estudos de

viabilidade técnica, o lodo passou a ser encaminhado para os plantios comerciais de *Eucalyptus* spp, de forma a atuar como condicionador de solos. Para este tipo de disposição final, incluindo os custos de desidratação e transporte do lodo até a floresta, eram gastos aproximadamente US\$ 75.500,00/mês. O alto custo somado ao problema de geração de odores desagradáveis durante sua aplicação, sinalizaram a necessidade de se criar uma forma alternativa de disposição final do lodo que fosse sanitariamente e ambientalmente adequada. Optou-se, pela queima do lodo biológico na caldeira de recuperação, após a sua mistura com o licor preto fraco antes da evaporação. Essa alternativa foi viabilizada operacionalmente em agosto/98. Atualmente, cerca de 75% do lodo biológico produzido na estação de tratamento de efluente é enviado para evaporação e queima na caldeira de recuperação. O restante tem outros fins tais como: recuperação de área degradada, compostagem orgânica, etc.

Um estudo econômico da queima do lodo biológico na caldeira de recuperação é apresentado no Quadro 2. Este quadro mostra os principais custos e economias geradas, mensalmente pela operação de queima de 100% do lodo biológico na caldeira de recuperação, em comparação com a alternativa de descarte do lodo biológico como coadjuvante de solos.

Quadro 2 – Principais custos e economias gerados pela queima do lodo biológico na caldeira de recuperação comparados com a opção de usá-lo como coadjuvante de solos

Pontos considerados no processo	Economia (+) /Custo (-), US\$/mês *
Consumo de vapor	- 39,278
Fertilizantes em substituição do lodo	- 10,573
Purga de lama	- 9,660
Consumo com polímeros	+ 22,725
Óleo combustível	+ 24,134
Descarte do lodo (transporte e aplicação)	+ 57,163
Mão-de-obra	+ 2,416
Manutenção da infra-estrutura desidratação	+ 3,762
Uso do dregs como fertilizante**	+ 10,080
Resultado econômico = Σ economia - Σ custo	60,769

Foi utilizado para base de cálculo uma massa mensal de lodo biológico e de dregs de 990 t e 480 t, respectivamente.

** O uso do dregs esta sendo viabilizado, como coadjuvante de solo em substituição do calcário.

Conforme pode ser visualizado no Quadro 2, caso o lodo biológico seja totalmente enviado para a evaporação e queimado na caldeira de recuperação, tem-se um saldo positivo de US\$ 60.769,00/mês em relação ao envio do mesmo para a floresta como coadjuvante de solos.

4.2. Viabilidade técnica da queima de lodo biológico na caldeira de recuperação

4.2.1. Entrada de ENP no sistema de recuperação

A queima do lodo biológico só foi viabilizada operacionalmente em agosto/98 a partir de criteriosa avaliação técnica. Os seguintes aspectos foram estudados: (1) constituição química do lodo biológico, (2) aumento na carga da planta de evaporação e (3) poder calorífico. O Quadro 3 mostra a constituição química dos principais inorgânicos do lodo biológico a 2,5% de sólidos. O envio do lodo biológico à planta de evaporação gera um impacto menor que 10% da demanda normal de vapor, enquanto apresenta um poder calorífico que se situa na faixa de 3.200 a 3.800 kcal/kg sólidos secos, equivalente ao do licor negro.

Quadro 3 – Principais constituintes inorgânicos do lodo biológico

Lodo Biológico	Inorgânicos, g/m ³									
	Cl	SiO ₂	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	P	SO ₄
A	1.181	92,2	508	54,1	357	49,3	22,1	62,4	91,4	276
B	1.350	154,9	517	69,7	193	35,0	19,3	53,1	86,6	32,9
C	1.425	96,9	568	69,7	86,4	15,5	31,6	31,6	117	93,1
Média	1.319	115	531	64,5	212	33,2	24,3	49,0	98,3	134

Os resultados foram obtidos através de 3 amostragens compostas, referentes a 10 dias cada, compreendendo o período de 09/04 a 09/05/99. O lodo biológico apresentou um conteúdo total de inorgânicos de 17,8% base sólidos.

A Figura 2 mostra a entrada dos principais ENP no sistema de recuperação, levando em consideração a queima de 990 t /mês de lodo biológico, ou seja, 100% do lodo produzido na estação de tratamento de efluentes. É importante observar que além da introdução dos ENP através do lodo, existe também uma introdução de sulfato de sódio, sendo esse fato uma vantagem indireta advinda da queima do lodo biológico.

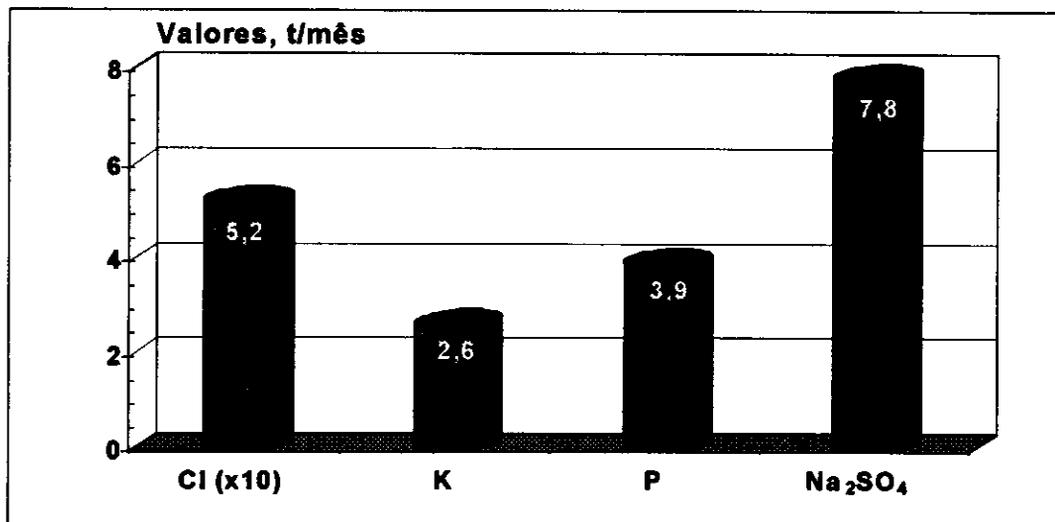


Figura 2 - Introdução dos principais ENP e de Na₂SO₄ pela queima de 100% do lodo biológico a uma concentração de 2,5% de sólidos.

A maior parte de ENP que é introduzido no circuito da recuperação dos químicos tem sido removido eficientemente pelo processo. As principais fontes desses elementos no processo são a madeira, a queima do lodo biológico, os insumos químicos (*make up*) e a água industrial [3,14]. Os elementos que vêm causando problemas no sistema, e que tem na queima do lodo biológico uma de suas principais origens são os íons cloreto, potássio e fósforo. Os demais elementos são removidos principalmente via dregs e grits.

Atualmente, os íons cloreto e de potássio estão sendo removidos através das perdas normais e eventuais do processo que ocorrem durante as paradas operacionais para manutenção, principalmente da cinza do precipitador eletrostático. Enquanto os níveis dos íons de potássio tendem a se manter em níveis estáveis (aproximadamente 4% da cinza do precipitador), os níveis dos íons cloreto mostram um ligeiro aumento ao longo do tempo. Apesar disso, durante este ano de operação com a queima do lodo biológico, não foram observados problemas de entupimentos devido a depósitos nas caldeiras. As taxas de corrosão nas tubulações estão semelhantes àquelas encontradas anteriormente à queima do lodo biológico. A partir de janeiro de 1999, no licor preto concentrado a 68,6% de sólidos, os valores de Cl e K estão em torno de 3,5% e 3,4% base sólidos secos, respectivamente. Estes níveis estão dentro da faixa indicada como normal, ou seja, para os íons Cl valores inferiores a 7%, e para os íons K valores entre 1 a 5%, base sólidos secos [5]. A Figura 3 apresenta os valores de cloretos no licor preto concentrado no período de Janeiro de 1998 a Julho de 1999.

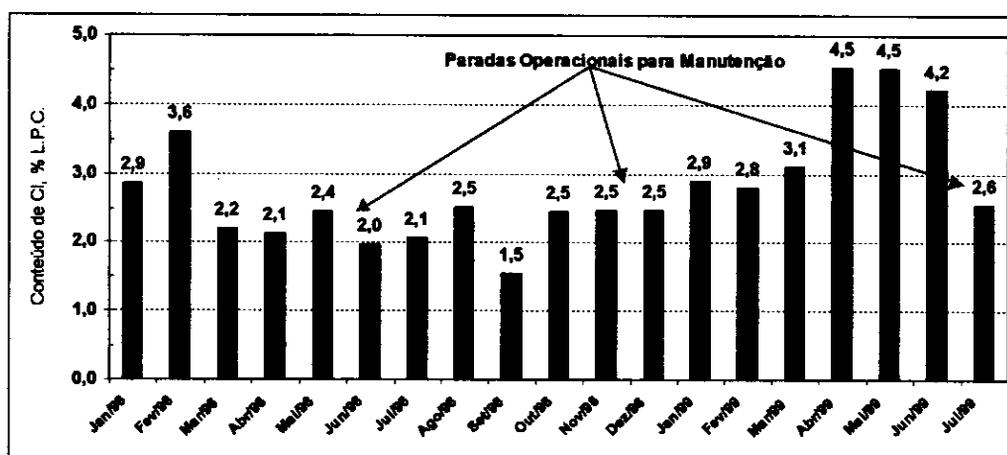


Figura 3 - Conteúdo de íons Cl no Licor Preto Concentrado (L.P.C.).

4.2.2. Redução dos íons Cl e K através da concentração do lodo biológico

Uma forma de se reduzir a entrada de íons de cloro e potássio no sistema é através da concentração do lodo biológico, ou seja, a introdução destes íons no sistema pode ser minimizada através de um melhor desaguamento do lodo biológico. A Figura 4 mostra claramente o efeito do desaguamento do lodo biológico na redução dos íons de Cl^- e K^+ . Por essa razão, na CENIBRA, estuda-se a possibilidade de implantação de uma centrífuga com finalidade de elevar o teor de sólidos do lodo biológico para valores entre 10 a 15%. Alternativamente, pode-se ter um sistema específico para remoção dos íons de Cl^- e K^+ das cinzas do precipitador eletrostático, como por

exemplo, utilizando o sistema de lixiviação da cinza [6].

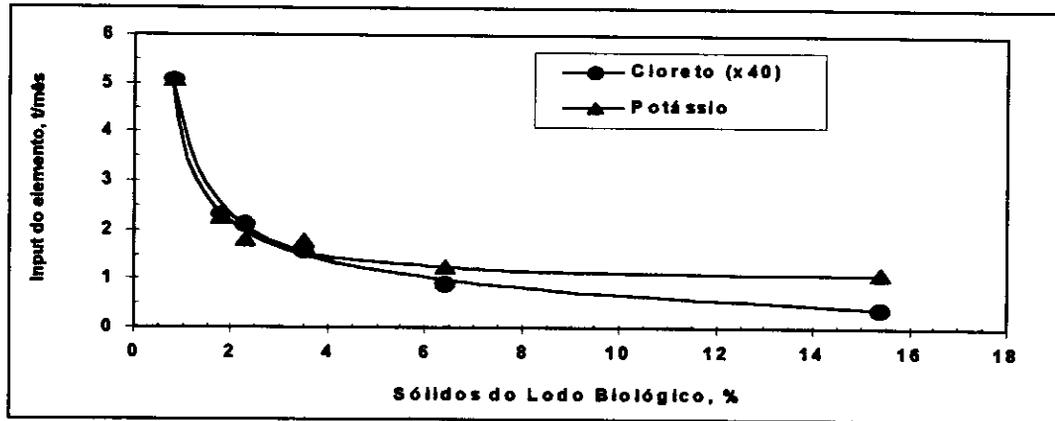


Figura 4 - Efeito do desaguamento do lodo biológico na redução dos íons de Cl e K no sistema de recuperação

Os ENP insolúveis em meio alcalino devem ser removidos via dregs, juntos com o material carbonáceo residual da queima na caldeira. Desta forma, é de grande importância o estudo da eficiência de clarificação do licor verde. Com a queima do lodo biológico, além dos íons cloreto, outro elemento não processável que vêm se acumulando no processo são os íons de fósforo. Este acúmulo ocorre devido à permanência do fosfato de cálcio no ciclo da lama, uma vez que este é mais solúvel no licor verde do que no licor branco [12,14]. Portanto, uma forma efetiva de se remover os íons de fósforo do sistema é através da purga da lama. Quantidades pouco significativas de fosfato podem ser removidas via dregs.

4.2.3. Aumento de eficiência de remoção de P

Este estudo foi conduzido com objetivo de verificar o motivo da perda de reatividade da lama, e conseqüentemente, a queda da CaO útil, após a reação de calcinação da lama. A Figura 6 mostra o efeito da queima de lodo biológico, no comportamento dos valores de CaO total e CaO útil somado ao CaCO₃. O valor médio de CaCO₃ na cal gira em torno de 1,5% expresso como CaO.

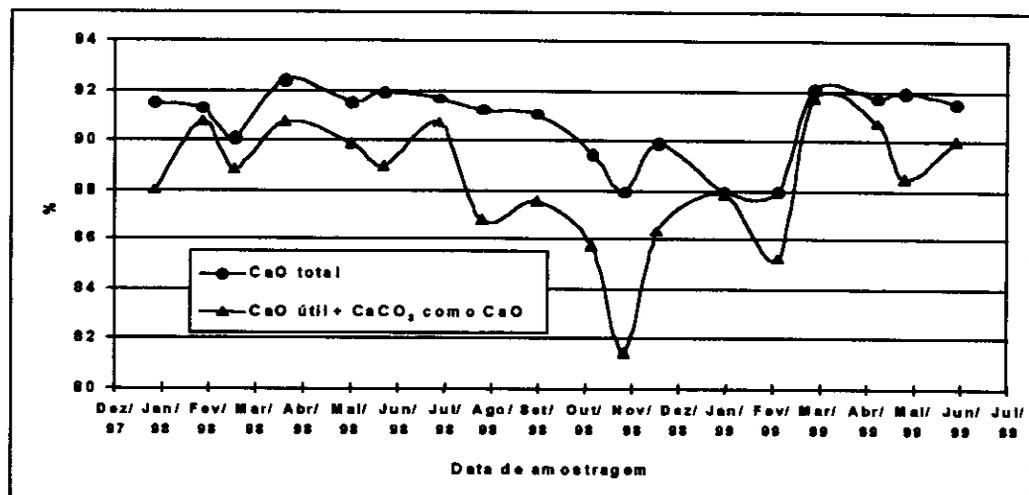


Figura 6 - Comportamento dos valores de CaO total e CaO útil + CaCO₃ expresso como CaO.

O motivo da perda de reatividade da lama e dos baixos níveis de CaO útil está diretamente relacionado à presença de ENP. Entre eles os íons de fósforo mostrou ter a correlação mais significativa ($R^2 = 0,7$) com a perda de reatividade. Os ENP que não foram removidos através dos dregs constituem uma carga inerte, diminuindo os níveis de CaO total. Uma parte dessa carga inerte se deposita na lama durante a clarificação do licor branco, e outra parte segue com o licor branco. Esse fato ocorre no processo principalmente nos períodos de baixa eficiência de clarificação do licor verde. Os referidos períodos estão associados com um maior conteúdo de material carbônico, residual da queima do licor preto na caldeira. Portanto, uma significativa remoção dos ENP ocorre pelo aumento da eficiência de remoção dos dregs do licor verde. A forma mais efetiva de remoção dos íons de fósforo do ciclo do cálcio se dá pela purga controlada da lama. Esse fato resulta em aumento da reatividade da lama como pode ser visto na Figura 6 no mês de maio/99, onde a CaO total e CaO útil + CaCO_3 são muito semelhantes.

Com a queima do lodo biológico uma outra forma de se reduzir a entrada de fósforo no sistema é o de reduzir a sua dosagem de nutrientes na estação de tratamento de efluentes através da otimização do sistema de lodos ativados.

4.2.4. Otimização da estação de tratamento de efluentes para a redução de fósforo no lodo biológico

Com o intuito de se reduzir a quantidade de lodo produzida no sistema e reduzir também os níveis de concentração de fósforo no sistema, um trabalho de otimização da Estação de Tratamento Biológico tem sido desenvolvido. Um aspecto do trabalho consiste em aumentar o tempo de retenção celular (idade do lodo) do sistema biológico, de forma a garantir uma menor produção de lodo excedente e, conseqüentemente reduzir a dosagem de fósforo, que é atualmente feita numa proporção de $\text{DBO}_5:\text{N}:\text{P}$ igual a 100:5:1. Espera-se, que ao final do trabalho, haja uma redução de 50% na dosagem de fósforo.

5. CONCLUSÕES

Sob o ponto de vista econômico a queima do lodo biológico na caldeira de recuperação gera um saldo positivo de US\$ 60.769/mês em relação a alternativa de disposição no solo, tornando-a atrativa. Essa alternativa tem-se mostrado viável, operacionalmente, também apesar do acúmulo de ENP's.

Os elementos que vêm causando maior preocupação, e que tem na queima do lodo biológico uma de suas principais fontes, são os íons de Cl, K e P. Os demais elementos são removidos no processo, principalmente, via dregs e grits de forma eficiente.

A entrada dos íons de Cl e K no sistema podem ser minimizados, assim como o impacto na planta de evaporação pelo incremento do desaguamento do lodo biológico. Estes fatos viabilizam a implantação de um sistema de centrifugação, com finalidade de elevar o teor de sólidos do lodo biológico para valores entre 10 a 15%.

A reatividade da lama foi reduzida, principalmente pelo acúmulo dos íons P na lama. Os demais ENP's que constituem a carga morta devem ser eficientemente removida via dregs.

Enquanto os íons de fósforo são removidos eficientemente pela purga controlada da lama. A redução de fósforo no sistema pode ser também alcançada com a otimização da planta de lodos ativados e conseqüente redução na dosagem do nutriente.

Sob o ponto de vista ambiental, a queima do lodo na caldeira de recuperação constitui também uma alternativa bastante interessante: minimiza consideravelmente a necessidade de desidratação, transporte e disposição final de resíduos sólidos, e aumenta a capacidade de produção de energia da fábrica.

6. REFERÊNCIAS

1. METCALF & EDDY, INC.; Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse. Third Edition, McGraw-Hill, 1991, 1334p.
2. SPRINGER, A. M. Industrial Environmental Control: Pulp and Paper Industry. Tappi Press, Atlanta, Georgia, 1993. p.699.
3. FREDERICK, W. J., GRACE, T. M., and JOYCE, T. W. Disposal of secondary sludge in the kraft recovery system. *Tappi Journal*. 64(1):59-64 1981.
4. TERRY N. A. et al. Kraft recovery boilers. TAPPI PRESS, Atlanta, Georgia. 1997, pp 381.
5. TRAN, H. N., BARHAM, D., REEVE, D.W. Chloride and potassium in the kraft chemical recovery cycle. *Pulp Paper Can* 91(5):T185-190 (May 1990).
6. JARENTUN, A. and ALY, G. Leaching of Chloride and Potassium from Electrostatic Precipitator Catch *International Chemical Recovery Conference 1998*.
7. MINDAY, A.M., BURKE, M.A., REID, D.W. and BROWN, C.J. An Overview of Various Strategies For Balancing Sat Cake, Chloride and Potassium Levels in an ECF Kraft Mill. *International Chemical Recovery Conference 1998*.
8. SHENASSA, R., REEVE, D.W., DICK, P.D., COSTA, M.L. Chloride and potassium control in the closed kraft mill liquor cycles. *Pulp Paper Can* 97(5):T173-179 (May 1996).
9. MAPLES, G.E., AMBADY, R., CARON, J.R., STRATTON, S.C. and CANOVAS, R.E.V. BFR: A new process towards bleach plant closure. *Tappi Journal* 77(11):71(1994).
10. JEMAA, N., THOMPSON, R., BROWN, C., PALEOLOGOU, M., RICHARDSON, B. and SHEEDY, M. Chloride Removal From The Kraft Recovery Boiler ESP Dust Using The Precipitator Dust Purification (PDP) System - *International Chemical Recovery Conference 1998. TAPPI Proceedings*. pp 141-156.
11. PFROMM, P.H. and RAPP, H. Selective chloride removal from the kraft process: field test. *Institute of Paper Science and Technology*. Atlanta, Georgia, October 8, 1997.
12. ULMGREN, P. Non-process elements in a bleached kraft pulp mill with a high degree of system closure-state of the art. *Nord. Pulp Pap. Res. J.* 12(1): pp 32 – 41 (1997).
13. GLEADOW, P. et al. Towards closed-cycle kraft: ECF versus TCF case studies. *Pulp Paper Can* 98(4):T100-179 (1997).
14. ULMGREN, P. Non-process elements in a bleached kraft pulp mill with increased system closure. *1996 TAPPI Minimum Effluent Mills Symposium*, January, 1996, p.17.