

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E AMBIENTAIS
GESTÃO AMBIENTAL**

EMANUELI REYNILDA KUNZ

**QUEIMA DE LODO BIOLÓGICO EM CALDEIRA DE BIOMASSA DE UMA FÁBRICA
DE CELULOSE – CASE FIBRIA**

**DOURADOS
2014**

EMANUELI REYNILDA KUNZ

**QUEIMA DE LODO BIOLÓGICO EM CALDEIRA DE BIOMASSA DE UMA FÁBRICA
DE CELULOSE – CASE FIBRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Gestão Ambiental.

Orientador: Claudio Arcanjo de Sousa

DOURADOS

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E AMBIENTAIS
GESTÃO AMBIENTAL

**QUEIMA DE LODO BIOLÓGICO EM CALDEIRA DE BIOMASSA DE UMA FÁBRICA DE
CELULOSE – CASE FIBRIA**

EMANUELI REYNILDA KUNZ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pela Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Gestão Ambiental.

DATA DA DEFESA: 11 de dezembro de 2014

BANCA EXAMINADORA:

Prof. MSc. Antonio Carlos Caetano de Souza

Prof. Dr. Mario Vito Comar

Prof. Dr. Claudio Arcanjo de Sousa (Orientador)

Dedico este trabalho a Deus e à minha família!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a Deus pelo dom da vida, pois sem ela nada disso seria possível.

Agradecer pela família maravilhosa que tenho, pelo amor, carinho e todo o apoio que sempre me deram ao longo dos anos. Agradeço especialmente a minha mãe Mariléia Baú, por ter me dado tudo na vida, muito amor, educação, apoio moral, psicológico e financeiro; aos meus irmãos que sempre acreditaram em mim, apoiaram e me incentivaram.

Agradeço aos amigos (as), colegas e professores, que de alguma maneira contribuíram pra que eu chegasse até aqui e concluísse meu curso de graduação.

Agradeço ao meu orientador, professor e amigo Claudio Arcanjo de Souza por ter aceitado ser meu orientador, pela paciência que teve em me ensinar, agradeço pelos conhecimentos transmitidos e serenidade que teve nos momentos difíceis.

Muito obrigado, sem a ajuda de vocês nada disso seria possível!

QUEIMA DE LODO BIOLÓGICO EM CALDEIRA DE BIOMASSA DE UMA FÁBRICA DE CELULOSE – CASE FIBRIA

KUNZ, Emanuelli Reynilda; SOUSA, Claudio Arcanjo;

RESUMO

A busca por melhorias ambientais está fazendo com que algumas empresas se adaptem e mudem seus processos produtivos para eliminar ou reaproveitar os resíduos descartados. O aproveitamento desses resíduos deixou de ser um problema e vem se tornando uma solução lucrativa, pois deixam de descartar esses resíduos e reutilizam-no como matéria prima ou auxílio no sistema industrial. Pode-se minimizar a geração de resíduos pela modificação do processo industrial, adotando tecnologias limpas, substituindo matérias primas ou insumos. O setor da celulose é o terceiro maior consumidor de água e gerador de efluentes, que durante o processo de tratamento gera grandes volumes de lodo, lodo esse, que no método tradicional de disposição final é disposto em aterro industrial. No processo industrial da FIBRIA unidade Três Lagoas – MS, eles estão deixando de

depositar o lodo em aterro para incinerá-lo juntamente com biomassa e conseqüentemente gerar energia. O objetivo principal do trabalho é comparar os ganhos energético, ambientais, financeiros e operacionais da queima do lodo biológico em caldeira de biomassa com os métodos tradicionais da disposição final deste lodo em aterros. Os resultados indicam que do ponto de vista energético a queima do lodo não é atrativo, uma vez que o lodo possui elevado volume de água, exigindo gastos adicionais de energia proveniente da biomassa para sua evaporação. Entretanto do ponto de vista ambiental, financeiro e operacional, o sistema de queima de lodo é mais vantajoso devido à minimização de passivos ambientais, emissões atmosféricas, menor custo de operação e maior tempo de vida de útil do sistema de queima de lodo.

Palavras-Chave: Queima de lodo biológico, biomassa, gestão de resíduos.

ABSTRACT

The search for environmental improvement is causing some companies to adapt and change their production processes to eliminate or reuse discarded waste. The use of such waste is no longer a problem and a profitable solution is to dispose of waste and reuse it as raw material or aid in the industrial system. You can minimize the generation of waste by modifying the industrial process, adopting clean technologies, replacing raw materials or inputs. The paper industry is the third largest consumer of water and liquid generator. During its treatment large volume of sludge is generated. In the traditional method of disposal is the sludge into industrial landfills. In the industrial process of FIBRIA and the Três Lagoas – MS plant, they are not to depositing the sludge in landfills but

it is incinerated with biomass to generate energy. The main aim of this paper is to compare the energetic, environmental, financial and operational gains of organic sludge burning in biomass boilers with the traditional methods of disposal of sludge in landfills. Results indicate from and energy balance point of view burning the sludge is not attractive, since the sludge has a high continent of water, requiring additional expenditure of energy from biomass for its evaporation. However, from the environmental, financial and operational point of view, the sludge burning system is more advantageous due to the minimization of environmental liabilities, air emissions, lower operating costs and longer lifetime of energy system.

Keywords: Biological sludge burning, biomass, waste management

INTRODUÇÃO

A indústria de papel e celulose tem grande importância para a economia brasileira, contribuindo com aproximadamente de 5% na formação do PIB (Produto Interno Bruto), sendo o Brasil o terceiro maior produtor de celulose do mundo com uma produção de 15 milhões de toneladas anuais de celulose e 10,4 milhões de toneladas de papel anuais (BRACELPA, 2013). O setor de celulose é considerado o terceiro maior consumidor de água, perdendo apenas para o setor da mineração e químico.

Quase toda a água utilizada no sistema produtivo industrial torna-se efluentes, que necessariamente devem ser tratados em uma estação de tratamento de efluentes (ETE), antes de retornar ao corpo hídrico receptor. Dependendo do tipo de sistema de tratamento adotado, há uma grande geração de lodo biológico excedente, cuja disposição final no meio ambiente deve ser realizada de forma adequada.

Nos casos específicos das fábricas de celulose, a forma mais adotada para disposição final do lodo é o aterro industrial, que devido ao elevado volume de lodo gerado, é necessário dispor de grandes áreas para o depósito do lodo, o que acaba gerando enormes passivos ambientais, além de geração de gás metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) que contribuem para o efeito estufa, e sulfeto de hidrogênio (H_2S) que causa problemas de odor.

Durante o processo de tratamento de efluente da fábrica em estudo, são gerados em torno de 21 t de lodo biológico por dia, ou seja, é um grande volume de lodo gerado diariamente, que necessita uma ampla área destinada ao aterro industrial para se depósito.

Nos processos industriais tradicionais, após a geração desse lodo, ele é depositado em aterros industriais. Na fábrica em estudo, tem-se utilizado um novo processo de destinação do lodo, onde ele deixaria de ser disposto no aterro e é utilizado para geração de energia, por meio da sua queima em uma caldeira de leito fluidizado com capacidade de 120 t/hora de vapor.

A princípio, o maior ganho da queima do lodo é a redução de volumes em aterros, a diminuição de

geração de gás metano e minimização de passivos ambientais. Pois após o preenchido do aterro, ele continuará gerando gases que são deletérios ao meio ambiente.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Comparar os benefícios financeiros, energéticos, ambientais e operacionais da queima de lodo biológico em caldeira com os métodos tradicionais da disposição final do lodo em aterros.

Objetivos Específicos

- Estimar os custos financeiros da implantação, operação e manutenção do sistema de queima do lodo e do aterro industrial;
- Estimar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) da queima do lodo para geração de energia e da disposição em aterro;
- Comparar a geração de passivos ambientais durante a queima do lodo com a disposição em aterro industrial;
- Estimar o custo benefício da implementação desse novo processo de queima do lodo biológico;
- Realizar um balanço de massa e energia da queima de lodo e disposição em aterro industrial.

REVISÃO DE LITERATURA

Resíduos sólidos gerados no processo

As características físico-químicas dos diversos resíduos gerados durante a fabricação de celulose dependem basicamente do processo e das técnicas de produção de celulose, podendo variar consideravelmente de uma fábrica para outra. Basicamente os resíduos se dividem em orgânicos e inorgânicos. Os principais resíduos orgânicos são as cascas, serragem, cinzas e lodos orgânicos de estações de tratamento de efluentes. Os principais resíduos inorgânicos são o licor verde, dreg e grits que são resíduos gerados no processo Kraft e caracterizam-se por serem materiais inertes ao sistema (FOELKEL, 2007).

Segundo ACKERMANN et al (2000) os resíduos inorgânicos podem ter vários destinos, dentre eles: produção de cimento, fabricação de

tijolos, produção de concreto, produção de massa para montagem de parede com areia, cal e tijolos, condicionamento de rodovias, disposição nos aterros e corretivos de solos.

Os resíduos orgânicos quando não são dispostos em aterros industriais podem ser compostados ou incinerados com recuperação de energia, e as cinzas que são geradas na incineração podem ser aplicadas em florestas como condicionador de solo (ACKERMANN et al, 2000).

Nos processos industriais que utilizam madeira, são gerados resíduos com alto percentual de matéria orgânica. São aproximadamente 48 t de resíduos para cada 100 t de celulose produzida. (BELLOTE et al, 2003).

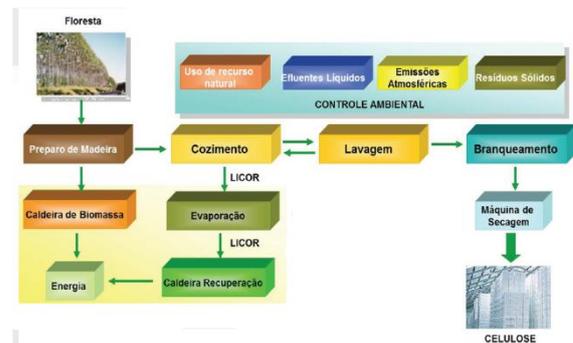
Novos processos

A busca pela melhoria da qualidade ambiental tem sido sinônimo de uma redução na geração de resíduos. Algumas empresas que buscam essa melhoria, já estão se conscientizando do problema ambiental e inovando seus sistemas produtivos a fim de reduzir ou eliminar os resíduos através da reciclagem ou de seu reaproveitamento (CRUZ, 2002).

O aproveitamento de materiais que até então eram considerados rejeitos, estão se tornando foco para uma alternativa de geração econômica, onde eles estão deixando de ser um problema e se tornando uma solução lucrativa (CRUZ, 2002).

Pode-se reduzir a geração de resíduos por meio da otimização de processos, operação ou modificando o modelo produtivo e em casos extremos pode-se eliminar a geração por meio da prevenção, pela modificação de processos, adotando tecnologias limpas, substituindo matérias primas ou insumos (VALLE, 2002).

Identificando as oportunidades de ganho econômico com a implantação de novos processos para a minimização da geração de resíduos, o meio técnico-científico vem se dedicando cada vez mais na busca de tecnologias alternativas para o descarte dos resíduos, seja no ar, água ou solo. Uma vez que o meio ambiente tem-se mostrado cada vez mais incapaz de absorver e alocar as quantidades crescentes de resíduos que são gerados.



Fonte de energia alternativa

Biomassa pode ser definida como recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia (ADAD, 1982).

A incineração de biomassa para geração de energia além de dar melhor uso à energia do combustível, também reduz o impacto ambiental, especialmente quanto às emissões gasosas. Ao lado destas vantagens econômicas e ecológicas também existem algumas desvantagens na cogeração. Como o vapor e a água quente não podem ser levados a longas distâncias, deverão existir, no local, demandas para suas produções, sem que a eficiência térmica do processo, seja prejudicada. Por estes motivos, a energia elétrica tem, geralmente, um peso maior do que o calor, e as avaliações econômicas de uma instalação têm que levar estes fatos em consideração (SOUZA, 2000).

As atuais instalações de cogeração de energia através de queima de biomassa alcançam uma redução de emissão de CO₂ em torno de 30%, em comparação com geração de estações de queima de carvão (termoelétricas movidas a carvão), e cerca de 10% em comparação com turbinas a gás de ciclo combinado (auto geração a gás natural) (COELHO, 2000).

Borges (2008) ressalta que o dióxido de carbono (CO₂), agora, responde por metade do aquecimento global. Para se limitar às emissões de CO₂ serão precisos programas energéticos integrados que sejam menos dependentes de combustíveis fósseis, especialmente carvão e petróleo, e que enfatizem a eficiência energética e fontes renováveis de energia. Desenvolver o uso generalizado de fontes energéticas menos poluidoras, em uma escala global, é uma tarefa difícil, mas também necessária.

Segundo Corson (1993), algumas iniciativas a serem tomadas para melhorar a eficiência energética é expandir as fontes energéticas renováveis, reverter o desflorestamento, limitar as emissões de dióxido de enxofre e óxidos nitrogenados, eliminar os clorofluorcarbonetos (CFCs), motivar a agricultura sustentável [...], podendo auxiliar na limitação da poluição tão danosa e reduzir o consumo geral de energia.

Uma tendência mundial para a destinação adequada dos resíduos sólidos (domésticos, industriais, agrícolas, lodos industrial e sanitário) é o processo de incineração/gaseificação, a partir da queima destes resíduos, onde pode ser utilizada para a geração de energia, fazendo com que ocorra a minimização de impactos ambientais e principalmente, trazendo vantagens econômicas com relação à aquisição de combustíveis e destinação final (AMBIENTE BRASIL, 2005).

Em relação à utilização de lodos de efluentes industriais e sanitários, poucos estudos e aplicações são encontrados, tornando-se uma importante fonte de pesquisa uma vez que também são considerados como biomassa de alto poder calorífico, quando possui baixa umidade, e essencialmente de origem orgânica, dos quais se pode gerar energia via combustão direta (DE SENA, 2005).

Embora ainda seja muito restrito, o uso de biomassa para a geração de energia tem sido objeto de estudos, tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento. Entre algumas razões desses estudos estão à busca de fontes mais competitivas de geração e a necessidade de redução das emissões de dióxido de carbono (ANEEL, 2006).

Geração de lodo biológico em fábricas de celulose

De acordo com Fonseca et al (2003), as águas residuárias da fabricação do papel possuem carga poluidora menor do que as provenientes da fábrica de polpa.

Normalmente, quanto mais finas são as classes de papel, maior é o consumo de água e conseqüentemente, maior é a diluição dos efluentes industriais. No Brasil, o consumo médio de água nas fábricas de celulose que utilizam o processo

Kraft é de aproximadamente 60 m³ por tonelada seca ao ar (tsa), em fábricas mais modernas pode diminuir a níveis de até 25m³/tsa (MIRANDA 2008).

Nos últimos anos a indústria de papel e celulose, vem sendo obrigada a fazer modificações e adaptar os seus processos de produção, para um melhor desempenho ambiental, seja ele modificando processos ou reduzindo quantidade de resíduos gerados, isso, para se fazer cumprir as exigências legais (MIELLI, 2007)

As indústrias de papel e celulose produzem uma quantidade considerável de água residuária em seus processos. Essa água necessita de um tratamento primário secundário, resultando na produção de uma quantia considerável de lodo.

Processo Lodos Ativados

Lodos ativados são os flocos produzidos em um esgoto bruto ou decantador pelo crescimento de bactérias ou outro organismos, na presença de oxigênio dissolvido e, ou acumulado em concentrações, O lodo ativado é formado, principalmente de bactérias, algas, fungos e protozoários, sendo bactérias os microorganismos de maior importância, uma vez que são responsáveis pela deteriorização da matéria orgânica e pela formação dos flocos. O processo de tratamento por lodo ativado é estritamente biológico e aeróbio, no qual o esgoto bruto do afluente e o lodo ativado são misturados intensamente, agitados e aerados. Após este procedimento, o lodo formado é enviado para o decantador secundário, onde a parte sólida é separada do esgoto tratado, sendo este último descartado.

Lodo biológico

Atualmente o principal resíduo da indústria de papel e celulose é o lodo, devido à grande quantidade de lodo produzida diariamente. O lodo da indústria de papel consiste em: materiais fibrosos orgânicos, materiais argilosos inorgânicos e alguns constituintes diferentes (CHIN-TSON LIAW et al., 1998).

O lodo da indústria de papel pode ser dividido em várias categorias:

- Lodo primário: resíduo proveniente da produção de fibras virgens de madeira;
- Lodo de destintamento: resíduo de lodo da produção de papel pós-uso por remoção das tintas das fibras;
- Lodo secundário: o lodo ativado do sistema biológico;
- Lodo combinado: resíduo da produção de papel com o biológico (lodo ativado). (BONI et al.,2004).

Os processos tradicionais de tratamento de água residuária descritos na literatura em geral geram grandes quantias de lodo, tanto no tratamento primário como no secundário (processo biológico anaeróbico e aeróbico). O principal problema disso é a disposição do lodo produzido (CAPUTO et al.,2001).

Disposição de lodos

A disposição final de resíduos sólidos provenientes de sistemas de tratamento de efluentes industriais e sanitários representa um grande problema de âmbito mundial (COSTA, 1995), assim sua utilização como matéria-prima alternativa em determinados processos representa uma solução ambiental e economicamente viável (BOROWSKI et al, 2002).

A forma mais utilizada de descarte é o aterramento, que vem encontrando dificuldades em vários países devido ao esgotamento de áreas para aterrar resíduos industriais (HOJAMBERDIEV et al, 2008). O progressivo enchimento das instalações existentes dos aterros, associado à diminuição da área disponível para novas instalações junto com o aumento dos custos relacionados com a disposição em aterro, determinou que fossem criadas alternativas para reuso dos resíduos.

As alternativas mais usuais para a disposição final de lodos biológicos são: disposição em aterro sanitário (aterro exclusivo e co-disposição com resíduos sólidos urbanos); reuso industrial (produção de agregado leve, fabricação de tijolos e cerâmica e produção de cimento); incineração (incineração exclusiva, co-incineração com resíduos sólidos urbanos); conversão em óleo combustível; recuperação de solos (recuperação de áreas degradadas e mineração); reciclagem agrícola

e florestal (aplicação direta no solo, compostagem, fertilizantes e solo sintético) (TSUTYA, 2000).

Alternativas de disposição	Vantagens	Desvantagens
Incineração	Redução grandiosa de volume	Alto custo e gerenciamento de cinzas, poluição atmosférica
Aterro	Baixo custo	grande área para disposição, produção de gases, demora na regeneração da área após encerramento do aterro
Disposição superficial no solo	Baixo custo	Possível contaminação de solo e lençol freático, mau odor, atração de vetores.
Reciclagem agrícola	Efeito positivo sobre o solo	Possível contaminação de solo e lençol freático, mau odor.
Recuperação de áreas degradadas	Efeito positivo sobre o solo	Liberação de maus odores, possível contaminação da biota e lençol freático

Incineração de lodo biológico em fábrica de papel e celulose

A produção industrial de papel e celulose é muito exigente em termos de insumos e energia. Por isso, indústrias deste setor vêm intensificando o reaproveitamento máximo da energia e matérias-primas, a fim de minimizar os resíduos quando possível. Muitos países ainda não deixaram de descartar o lodo gerado no processo de fabricação do papel em aterros industriais, onde acabam ignorando novos processos de destinação final, e não observam o desperdício energético contido neste lodo (ORAL et al, 2005).

De acordo com Caputo e Pelagagge (2001), o lodo de papel e celulose pode ser utilizado como combustível em incineradores, visando sua redução e também utilizando para geração de energia. O processo de incineração gera certa quantidade de resíduos sólidos, porém quando comparado com a quantidade de lodo que seria disposto no aterro industrial, esses resíduos da incineração se tornam mínimos.

A energia térmica do lodo é usualmente recuperada em incineração ou convertida em fertilizantes orgânicos e ainda, em alguns casos, reciclados novamente no processo produtivo. Algumas indústrias já estão incinerando seu lodo visando resolver o problema da insuficiência de espaços em aterros. No entanto, materiais não combustíveis do lodo constituem-se em 30%, mesmo assim são coletados em forma de cinzas após a incineração e vão para os aterros, em quantia considerável.

As emissões atmosféricas relacionadas à queima num espectro geral das plantas de incineração variam o conteúdo de poluente. Os mais importantes são os sólidos particulados ou poeira, dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxido nítrico (NO_x) e metano (CH₄) (ACKERMANN et al., 2000).

METODOLOGIA

Situação física

Para o presente trabalho, foram obtidos dados da fábrica de celulose Kraft branqueada de Eucalipto da empresa FIBRIA Unidade Três Lagoas – Mato Grosso do Sul, durante o período de 12 de dezembro de 2013 à 23 de outubro de 2014.

Todo o efluente produzido na FIBRIA é tratado dentro da própria empresa em uma estação de tratamento de efluentes por lodos ativados aeração prolongada, que possui uma menor capacidade de geração de lodo comparado com um sistema convencional. A unidade industrial em estudo gera aproximadamente 100.000 m³/d de efluente com uma carga orgânica de DQO e DBO₅ de 125 e 75 t/d respectivamente.

A FIBRIA possui duas linhas de produção de cavacos, a Linha 1, onde se processa a madeira com casca e a Linha 2 onde se processa a madeira sem casca. A Linha 1 retira as cascas da madeira que são estocadas em silo de biomassa para posteriori serem queimadas na caldeira auxiliar ou caldeira de biomassa.

Dados do aterro industrial

A FIBRIA possui dois aterros industriais com capacidade de 112.000 m³ cada, para recebimento de todos os resíduos gerados na unidade industrial.

Dados do lodo biológico

O lodo biológico gerado na FIBRIA é originário de um sistema de lodos ativados a aeração prolongada. O lodo é produzido constantemente ao longo do dia, com uma média diária de aproximadamente 1861 m³/d em uma consistência média de 1,06% de sólidos totalizando 21,3t/dia, com umidade de 80,0 a 90,0%. Todo o lodo produzido ao longo do dia é queimado na caldeira de biomassa.

Dados da biomassa

A biomassa que é gerada e queimada na FIBRIA, anteriormente era composta somente de casca de madeira (*Eucaliptus urograndis*) que é produzido durante o processo de descascamento na área de preparação da madeira. Anualmente são gerados aproximadamente 285 mil toneladas de cascas de madeira, onde 814 t são queimadas diariamente.

Dados da caldeira

A caldeira de biomassa da FIBRIA é de leito fluidizado BFB com área de fornalha de 57m², com capacidade de 120 t/h de vapor a uma pressão de projeto de 110kgf/cm² e eficiência de queima de 68%. Além da biomassa, esta caldeira ainda pode utilizar como combustível auxiliar o óleo BPF, diesel e gás natural. É nesta caldeira de biomassa que ocorre a queima do lodo biológico.

Balço energético da queima

O balanço energético da queima foi realizado através da equação:

$$MBio \cdot (t/h) \cdot PCS (MJ/t) \cdot E(\eta) = V(t/h) \cdot Entalpia (MJ/t)$$

Onde: MBio= Biomassa queimada; PCS - Poder calorífico superior (MJ/t); E(η)= Eficiência da queima da biomassa na caldeira; V= Vapor gerado; Entalpia (Tabelado = 3342MJ/t).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização energética da biomassa (BIO)

O PCS médio da biomassa foi obtido de 844 amostras e está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização energética média da BIO

Parâmetro	Dados energético (Biomassa)						
	PCS (MJ/Kg) Úmida	PCS (MJ/Kg) Seca	Densidade Aparente Seca (Kg/m ³)	Densidade Aparente Úmida (Kg/m ³)	Teor Seco %	Inorgânicos %	Insolúveis %
Máximo	13,98	19,26	142,59	212,92	88,87	17,45	14,70
Mínimo	7,62	14,35	91,96	129,07	62,66	2,17	0,65
Média	11,65	16,86	109,91	161,68	70,81	9,42	6,99
D. Padrão	1,72	4,41	14,76	20,69	8,62	5,17	4,64

Caracterização da Biomassa + Lodo biológico (BIO+LB)

Os resultados energéticos da mistura do lodo mais a biomassa estão apresentados na Tabela 2. Estes valores foram obtidos através da média de 316 resultados analíticos.

Tabela 2. Caracterização energética média BIO+LB.

Parâmetro	Dados energéticos (Biomassa + Lodo)						
	PCS (MJ/Kg) Úmida	PCS (MJ/Kg) Seca	Densidade Aparente Seca (Kg/m³)	Densidade Aparente Úmida (Kg/m³)	Teor Seco %	Inorgânicos %	Insolúveis %
Máximo	11,38	17,58	174,29	390,77	67,75	13,82	9,97
Mínimo	2,66	10,29	70,88	152,42	27,45	2,66	1,38
Média	8,21	16,48	132,53	236,70	55,99	10,50	7,31
D. Padrão	2,09	0,98	20,20	58,48	8,62	3,01	2,40

Essa variação de amostras de um sistema para o outro ocorre devido o sistema de incineração de lodo ser um projeto mais recente. Porém a quantidade de dados avaliados não interfere nos resultados, uma vez que o dado estudado foi as médias das amostras.

Produção de vapor

Os dados utilizados para chegar a produção de vapor foram dados da caldeira e os PCS médios apresentados na tabela 1 e 2.

Após cálculo obteve-se como resultado que para se produzir 120 t/h de vapor queimando somente a biomassa são necessário 50,62 t de biomassa pura. Para produzir as mesmas 120 t/h de vapor queimando biomassa mais lodo são necessário 71,84 t de mistura. Essa diferença de 21,22t/h ocorre exatamente porque o lodo biológico apresenta um elevado teor de umidade, reduzindo o potencial energético da queima, além do PCS do lodo ser inferior quando comparado com PCS da biomassa. Ou seja, do ponto de vista energético a queima do lodo biológico na caldeira com esse teor de umidade gera um custo acaba se tornando custo e não lucro para a empresa, pois quanto menor for à umidade, menor será a energia necessária para secá-lo, ou seja, é necessário mais energia para seca-lá do que a quantidade de energia que esse lodo gera após seco.

Viabilidade ambiental

Os gases gerados no aterro industrial se resumem basicamente em metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) e ácido sulfídrico (H₂S) que são gases de efeito estufa.

Os gases gerados na queima de biomassa em caldeira são dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (NO_x) e metano (CH₄).

Os gases gerados em ambos os processos, seja na disposição do lodo em aterros e na queima em caldeira, são deletérios ao meio ambiente, no entanto, a principal emissão de gás pela decomposição anaeróbia é o gás metano, enquanto que na queima é o CO₂. O CH₄ é 20 vezes mais eficiente na captura de radiação solar do que o CO₂, desse modo, é menos impactante queimar o lodo na caldeira do que deixá-lo decompondo no aterro. Outro fator importante com relação à emissão de gases no aterro está relacionada com o odor gerado principalmente pelos gases reduzidos de enxofre.

Viabilidade econômica

O custo para se implantar um aterro industrial com capacidade de 112.000 m³ é de aproximadamente R\$ 6 milhões. O custo médio operacional para a disposição de 1m³ de lodo biológico é de aproximadamente R\$ 67,00. Considerando o volume de lodo gerado e o volume do aterro, tem-se uma vida útil do aterro de aproximadamente 8,4 anos. Entretanto, não é viável a operacionalização do aterro somente com lodo biológico, sendo necessário fazer um mix de no mínimo 60% de outros resíduos juntamente com o lodo para permitir a compactação do mesmo, sendo assim, a vida útil do aterro operando com o lodo biológico passa ser de 3,5 anos.

O custo total aproximado para a implantação do sistema de transporte do lodo até a caldeira de biomassa é de R\$ 5,6 milhões, e apresenta uma vida útil de 25 anos, ou seja, durante esse período será necessário construir 7,14 aterros industriais com um custo total atual de 42,9 milhões. Considerando uma taxa de manutenção de 10% a.a. e a depreciação do período, o custo total do sistema por ano é de R\$784.000,00 contra R\$1.714.285,00 do aterro industrial.

CONCLUSÃO

Após análise dos dados energético da biomassa pura e da mistura da biomassa mais o lodo biológico, conclui-se que do ponto de vista energético a queima do lodo biológico na caldeira é inviável energeticamente devido ao elevado teor de umidade presente neste.

No entanto, do ponto de vista ambiental no que diz respeito à emissão de gases de efeito estufa e a geração de passivos ambientais, a queima do lodo na caldeira de biomassa apresenta larga vantagem comparado com a disposição do aterro.

Do ponto de vista econômico e de vida útil dos dois sistemas, o sistema de queima é mais vantajoso a longo prazo do que a disposição em aterro, devido principalmente ao custo de implantação e operacional do aterro.

Focando na gestão ambiental de ambos os processos de disposição final do lodo, podemos avaliar que o sistema de queima de lodo ele se torna algo mais benéfico ao meio ambiente, devido as passivos que esse aterro deixou de gerar. Além de que no sistema de incineração, após a queima do lodo é gerado uma quantidade de cinzas, por se tratar de queima de material biológico, essas cinzas podem ser utilizados como corretor de solo na própria empresa.

Através desses resíduos também pode ser levantado à hipótese de criação de parques industriais, visando que a cidade onde está instalada a fábrica em estudo, vem crescendo consideravelmente principalmente no setor de papel e celulose. Onde pode-se trabalhar a questão de venda e compra de resíduos de uma fábrica para outra.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o objetivo de aprofundar os conhecimentos sobre este assunto, sugere-se para trabalhos futuros:

- Ampliação dos estudos para melhoria da eficiência energética;
- Realizar estudos sobre quantificação de gases gerados em ambos os sistemas de disposição final do lodo;
- Estudo da utilização das cinzas geradas após a queima como material para construção civil e corretivo de solo;
- Gerar estudos sobre a energia contida nos resíduos, e métodos de transformar-los em matéria prima.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas **NBR ISO 14001:2004**, disponível em <http://www.abnt.org.br/>. Acesso em junho de 2014.

ACKERMANN, C.; GÖTTSCHING, I.; PAKARINEN, H); **Papermaking Science and Technology**. Finish Paper Enginner's Association TAPPI PRESS, 2000, Livro 7 (Recycled Fiber and Deinking), p.359-438.

ADAD, J.M.T. **Controle Químico de Qualidade**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1982.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica **ATLAS**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas>. Acesso em dezembro de 2013.

AMBIENTE BRASIL, **Competitividade e Tecnologias Limpas**. Disponível em http://ambientes.ambientebrasil.com.br/gestao/sistema_de_gestao_ambiental/competitividade_e_tecnologias_limpas.html?query=biomassa+queima Acesso em janeiro de 2014.

BELLOTE, A. F. J. et al. Silva, H. D.; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G de C. **Utilização de resíduos da produção de celulose**. Revista da Madeira, nº77 Nov. 2003. Disponível em: www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=77&id=460. Acesso em outubro de 2014.

BONI M. R.; D'APRILE L; CASA G., **Environmental quality of primary paper sludge**. Journal of Hazardous Materials, B 108 (2004), p.125-128.

BORGES, F. **Caracterização e estudo da potencialidade de lodos de efluentes doméstico e industrial como combustível na geração de energia**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2008.

BOROWSKI, H. C., SILVEIRA, J. L., EBINUMA, C. D., FERREIRA, E. D. **Análise de um modelo de co-geração a partir de resíduos sólidos urbanos**. Revista de Tecnologia, Fortaleza, v. 23, n. 1, p. 26-27, dez. 2002.

BRACELPA - Associação Brasileira de Papel e Celulose. **Produção e receita de exportação crescem em 2013**. Disponível em:

<http://bracelpa.org.br/bra2/?q=node/739>. Acesso em dezembro de 2014.

CAPUTO, A. C.; PELAGAGGE, P. M. **Waste-to-energy plant for paper industry sludges**. Journal of Hazardous Materials, v. 81 p.265–283, 2001.

CHIN-TSON LIAW; HUI-LAN CHANG; WEN-CHING HSU; CHI-RU HUANG. **Anovel method to reuse paper sludge and co-geration ashes from paper mill**. Journal of Hazardous Materials, 58 (1998), p.93-102.

COELHO, S. T. **Medidas mitigadoras para a redução de emissões de gases de efeito estufa na geração termelétrica**. Brasília: Dupligráfica, 2000.

CORSON, W.H. **Manual Global de Ecologia**. Augustus ed.,1993.

COSTA, V. R. **Plásticos a caminho da reciclagem**. *Ciência Hoje*. Rio de Janeiro, v. 18, n. 107, p. 8-15, mar. 1995.

CRUZ, A.A.F. **Estudo sobre a utilização do resíduo da queima da biomassa em argamassa**. 2002. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos Avançados) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2002. Disponível em http://www.tede.udesc.br/tde_busca/arquivo.php?co dArquivo=340. Acesso em julho de 2014.

DE SENA, R. F. **Avaliação da biomassa obtida pela otimização da flotação de efluentes da indústria de carnes para geração de energia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

FOELKEL, C. **Ecoeficiência na gestão de perda de fibras de celulose e do refugo gerado na fabricação de papel**. Eucalyptus Online Book & Newsletter. Agosto de 2007. Disponível em http://coral.ufsm.br/dcfl/seriestecnicas/fibras_refug os.pdf. Acesso em outubro de 2014

FONSECA, J. A. V. M. et al . BARBOSA, M.; PINTO, N. O.; SALAN, R. S.; SOBRINHO, G. D.; BRITO, N. N. ; CONEGLIAN, C. M. R.; TONSO, S.; PELIGRINI R.; **Tratamentos de efluentes líquidos da indústria de papel e celulose**.III Fórum de Estudos Contábeis. 2003. Disponível em: residuosindustriais1.

locaweb.com.br/arquivos/Artigos/Tratamento%20de%20efluentes%20%20Celulose.pdf. Acesso em outubro de 2014

FORMOSINHO. **Parecer Relativo ao Tratamento de Resíduos Industriais Perigosos**. 2000. Disponível em:<http://paginas.fe.up.pt/~jotace/cci/Relatorio/Rcom.pdf>>. Acesso em 13 de janeiro de 2014.

HOJAMBERDIEV M., KAMESHIMA Y., NAKAJIMA A., OKADAK.,KADIROVAZ.: **Preparation and sorption properties of materials from paper sludge**. Journal of Hazardous Materials 151 (2008)

MIELI, J. C. A. **Sistema de avaliação ambiental na indústria de celulose e papel**.2007. Disponível em <ftp://ftp.bbt.ufv.br/teses/ciencia%20florestal/2007/204946f.pdf>.. Acesso em outubro de 2014

MIRANDA, R. E. S; **Impactos ambientais decorrentes dos resíduos gerados na produção de papel e celulose**. Monografia (Curso de Engenharia Florestal) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ 2008. Disponível em http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/2008II/Monografia_Roselane.pdf. Acesso em outubro de 2014.

ORAL, J; SIKULA, J.; PUCHYR, R.; HAJNY, Z.; STEHLIK, P.; BEBAR, L. **Processing of waste from pulp and paper plant**. Journal of Cleaner Production, v. 13, 2005.

SOUZA, C.M.S. **Aplicação direta do lodo da indústria de celulose e papel no solo**. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa –MG, 2000.

TSUTYA, M.T. **Alternativas de disposição final de bio-sólidos gerados em estações de tratamento de esgoto**. In: BETTIOL, W. e CAMARGO, O.A. (Eds). **Impacto ambiental do uso agrícola de lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. cap.4, p.69-106.

VALLE, C. E.; **Qualidade Ambiental: ISO 14 000**. São Paulo: SENAC, 2002.

