

SECAGEM DE LODOS DE EFLUENTES INDUSTRIAIS PARA QUEIMA NA CALDEIRA COMO BIOMASSA NA GERAÇÃO DE ENERGIA E REDUÇÃO DE CUSTOS COM A DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS

Angelica Trindade Giroto; Fabio Junior Giroto¹

Cleusa Teresinha Anschau²

Elaine Cristina De Souza Neves Serpa³

RESUMO

Este artigo discute a sustentabilidade ambiental em uma agroindústria avícola. O estudo segue uma abordagem quanto ao alto custo e impacto ambiental da destinação de resíduos sólidos provenientes do sistema de tratamento de efluentes, estes resíduos industriais causam um impacto ambiental devido ao destino em aterros e um alto custo devido à necessidade de destinação por uma empresa licenciada para transporte e destinação. Devidamente tratado estes resíduos podem ser utilizados para geração de energia a vapor em caldeira a cavaco. Os resultados da pesquisa demonstram que existem muitas oportunidades de sustentabilidade e reaproveitamentos no meio industrial. O ramo industrial dedicado ao abate e processamento de aves utiliza grandes quantidades de recursos e insumos em seus processos, gerando resíduos potencialmente poluentes e recursos energéticos que podem ser reaproveitados no processo, minimizando seu impacto ambiental, reduzindo custos operacionais e gerando energia. Conclui-se também que apesar dos grandes avanços já realizados em busca da sustentabilidade muito ainda há por se fazer no tão desejado equilíbrio econômico-ambiental.

Palavras chave: Sustentabilidade. Agroindústria. Resíduos sólidos. Recurso energético. Impacto ambiental.

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos industriais tem sido um grande problema para o meio ambiente. Nas indústrias, as Estações de Tratamento de Efluentes (ETE's) tem gerado uma elevada produção de biomassa que necessita de uma destinação final adequada, sem prejudicar a qualidade ambiental (FONTES, 2003).

Desta forma, as empresas estão se conscientizando e implantando condições de reciclagem ou reutilização destas biomassas (CRUZ, 2000). A contribuição dos resíduos sólidos em aterros sanitários ou em lagos, rios e mares, fazem com que haja, além de danos ambientais, também perdas econômicas como desperdício de matéria-prima para o desenvolvimento de tecnologias alternativas (CRUZ, 2000).

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia de Produção – UCEFF. E-mail: Angelica12bonadiman@gmail.com; fabiojr.giroto@gmail.com.

² Docente da UCEFF. E-mail: cleusaanschau@uceff.edu.br.

³ Docente da UCEFF. E-mail: elaine@uceff.edu.br.

Uma das aplicações de reaproveitamento de resíduos sólidos industriais é o lodo de efluentes utilizado como biomassa combustível gerador de energia (DE SENA, 2005; WERTHER e OGADA, 1996).

Diante de exposto questiona-se: **Qual a alternativa para minimizar os custos com a destinação de resíduos sólidos em uma agroindústria?**

O objetivo deste estudo é avaliar a secagem de lodo de efluentes industriais aproveitando a biomassa como fonte alternativa de combustível para queima na caldeira na geração de energia. Deste modo será necessário o entendimento do processo de geração de lodo de efluente, bem como analisar os métodos de processamento de lodo e por fim rever os indicadores financeiros de um possível projeto de investimento.

Portanto, esta pesquisa se justifica porque toda e qualquer empresa ou companhia de grande porte para se manter competitiva no mercado, necessita de investimento constante e do desenvolvimento de novas tecnologias para otimizar e reduzir os custos de seu processo. Contudo, de nada adianta a empresa investir e inovar se não está preocupada com o reflexo do impacto do seu processo industrial na sociedade e no meio ambiente.

Em um cenário mundial onde a sustentabilidade está cada vez mais inserida, os processos de reutilização de resíduos sólidos provenientes de indústrias se torna uma alternativa para além de reduzir custos, ajudar na preservação do meio ambiente e melhorar a imagem da organização. Desta forma, a utilização destes resíduos sólidos como combustível para queima em caldeiras é uma ótima alternativa de retorno financeiro, pois tem-se elevados custos para destinação correta em aterros.

E ainda, este estudo contribui para o entendimento do processo de geração, tratamento de resíduos sólidos de efluente e a transformação deste resíduo sólido em combustível para melhorar a eficiência energética industrial.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A condição final dos resíduos sólidos das indústrias em consequência das ETE's tem se tornado um grande problema para as indústrias. Os mesmos devem ser tratados e dispostos de maneira correta para evitar danos ao meio ambiente. Assim, a aplicação como matéria-prima alternativa em determinados processos nas indústrias representa uma solução ambiental e economicamente viável para o uso como combustível para recuperação de energia (BOROWSKI *et al*, 2002).

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2002), a Resolução do Conama n. 316 de 29 de Outubro de 2002 define como resíduos os materiais ou substâncias que sejam incapazes de utilização para os fins que foram produzidos, o não aproveitamento econômico, resultantes de origem industrial, urbano, agrícola e comercial, serviços de saúde. A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 10.004 (2004, p.1) explica que resíduos sólidos:

[...] são resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades da comunidade, de origem: industrial, doméstica, de serviços de saúde, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Consideram-se também resíduos sólidos os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpo d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Emprega-se a NBR 10.004 (2004) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para a classificação dos resíduos em: Classe I (Perigosos), Classe II (Não Inertes), Classe III (Inertes).

2.2 LODO

Conforme Melo et al. (2001), o lodo do esgoto é um resíduo proveniente do tratamento dos efluentes, o objetivo de separá-lo nos permite sua utilização e transformação em outras formas de energia e o retorno da água ao ambiente sem que se tornem agentes poluidores. O lodo apresenta em sua composição material rico em matéria orgânica, em nitrogênio e em alguns micronutrientes. O lodo de esgoto apresenta-se tipicamente com 98 % de água. Dos sólidos contidos, 70 a 80 % é matéria orgânica incluindo óleos, graxas e resíduos sólidos. O volume de lodo gerado depende de alguns fatores, tais como: composição do efluente; tipo de tratamento; grau de estabilização ou mineralização, e tipo de processo (VAN VOORNEBURG e VAN VEEN, 1993).

O destino final do lodo gerado em Estação de tratamento de Efluente (ETE) envolve estudos e decisões relativos ao seu condicionamento e estabilização, grau de desidratação, forma de transporte, eventual reuso, eventuais impactos e riscos ambientais e aspectos econômicos desta destinação. Entre as consequências de práticas inadequadas de disposição do

resíduo, está a redução da eficiência técnica da ETE, a degradação dos recursos naturais e as consequências sobre o perfil sanitário da população.

Tabela 01-Resultados da composição média do lodo de ETE no Brasil

Parâmetros	Valor Médio no Brasil
pH	11,6
Material Seco, MS (%)	57,86
Nitrogênio total, N (%)	1,07
Carbono total, C (%)	12,56
Relação C/N	13,32
Fósforo total, P ₂ O ₅ (%)	0,26
Potássio, K ₂ O (%)	0,16
Cálcio total, CaO (%)	19,85
Magnésio total, MgO (%)	3,17
Cádmio (mg/kg MS)	0,57
Zinco (mg/kg MS)	28,99
Cobre (mg/kg MS)	73,73
Cromo (mg/kg MS)	28,11
Mercurio (mg/kg MS)	0,52
Níquel (mg/kg MS)	18,06

Fonte: Adaptada de Malta (2001) *apud* Andreoli et al (2001).

As aplicações para o lodo somente passa a ter algum potencial de reutilização quando o mesmo estiver seco. Por possuir um alto teor de calor calorífico inferior, sendo comparável ao carvão mineral, pode contribuir de maneira significativa na produção de energia elétrica e térmica. De acordo com regulamentações locais em vigor, essas aplicações estão ligadas às características físicas e químicas e ao seu comportamento frente a condições de combustão e pirólise (ZHENG, 2000).

Tabela 02 – Comparação do tipos de resíduos x poder calorífico

Fonte de energia	Poder calorífico (MJ/Kg)	Teor cinzas(%)	Água(%)
Madeira (seca ao ar)	14-17	<1	10-20
Lodo de destinação (úmido)	7-10	40-60	40-60
Rejeitos (úmido)	16-23	8-12	20-50
Lodo biológico (úmido)	7-9	20-40	70-85

Fonte: Adaptado de Gotts e Pakarinen (2000).

No Brasil o aproveitamento dos lodos provenientes de tratamentos de efluentes não são utilizados para cogeração de energia, são depositados em aterros sanitários, havendo desperdícios de matéria-prima. Essa produção de lodo no Brasil tem se tornado um problema cada vez maior que cria a necessidade de implantações de soluções tecnológicas que possam

auxiliar no reaproveitamento destes resíduos, para que eles deixem de ser um problema e se tornem uma solução.

2.3 BIOMASSA

Se tratando de valor energético, para fins de geração de energia, a biomassa provém de material orgânico (de origem animal ou vegetal) podendo ser utilizada na produção de energia. (ADAD, 1982).

Tabela 03 – Relação da umidade do lodo com o poder calorífico

Umidade (%)	Poder calorífico (MJ/Kg)
0	20,4
20	16,3
40	12,2
50	10,2
60	8,1
70	6,1
80	4,1
90	2,0

Fonte: Adaptado de Gullichsen (1999).

Entretanto o aproveitamento da biomassa pode ser feito através da combustão em fornos, caldeiras, etc, mas reduz a eficiência, (ANEEL, 2006). Segundo mesma fonte, a utilização da biomassa tem sido tema de estudos tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento, pois é uma das tecnologias mais coerentes para a utilização de combustíveis, contribuindo na diminuição do efeito estufa e aquecimento global.

De acordo com De Sena (2005) em relação a utilização de lodos de efluentes industriais, poucos estudos e aplicações são encontrados, aumentando sua importância com pesquisas, considerando a biomassa de alto teor de calor calorífico, quando possui baixa umidade, e principalmente de origem orgânica, podendo gerar energia por combustão direta.

2.4 COMBUSTÃO

Conforme Carvalho e Mcquay (2007), parte da energia consumida no mundo é utilizada pelo processo de combustão. Este processo consiste em um grande aproveitamento da biomassa, a queima do material é por aquecimento direto, muito utilizado em fogões (cocções), caldeiras (geração de vapor) e fornos (metalurgia).

Devido ao processo de combustão direta ser, muitas vezes ineficiente, alguns fatores melhoram sua eficiência: combustível, % de umidade, poder calorífico e a densidade energética do combustível (consideravelmente baixa), dificultando o transporte e armazenamento.

Alguns elementos químicos nos combustíveis são responsáveis pela liberação de calor, são eles: CO₂, H₂O (vapor), SO₂, SO₃, CO, NO_x, entre outros. No processo de combustão sólida, líquida, além de gases, também liberam materiais particulados que prejudicam o meio ambiente, (HUMBERTO, 2004 *apud* AZZOLINI, 2010).

Essa liberação de calor no processo de combustão é calculada pelo poder calorífico de um combustível, unidade de massa (kcal/kg) ou de volume (kcal/m³) nas condições normais de temperatura e pressão. (DE SENA, 2005). Conforme a Resolução do CONAMA n. 316 (2002), a Tabela 4 mostra os parâmetros de emissões gasosas.

Tabela 4 - Parâmetros de emissões gasosas

Parâmetros	Mg/Nm ³⁴	ppm ⁵
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	560	448
Óxidos de enxofre (SO _x)	280	224
Material Particulado	70	56
Monóxido de carbono (CO)	125	100

Fonte: Adaptada de Brasil (2012).

2.5 PODER CALORÍFICO

A quantidade de calor medida nos produtos da combustão na fase gasosa é chamado de poder calorífico inferior. Se os produtos de combustão estiverem na fase líquida a temperatura ambiente, é chamado de poder calorífico superior.

Essa quantidade de calor liberada pela combustão completa do combustível nas condições normais de temperatura e pressão, por unidade de massa (kcal/kg) ou de volume (kcal/m³), é definido poder calorífico de um combustível. Para um bom rendimento térmico na combustão, o combustível deve possuir uma elevada quantidade de carbono fixo e materiais voláteis, além de alto poder calorífico, quanto maior o teor de carbono e hidrogênio, melhor será a eficiência combustão na liberação de energia, (DE SENA, 2005).

Segundo Carvalho e Mcquay (2007), as quantidades de CO₂ expelidas pela combustão é um fator importante devido ser o grande precursor do efeito estufa.

⁴ Mg/Nm³: Miligramas por metro cúbico normal.

⁵ ppm: partes por milhão.

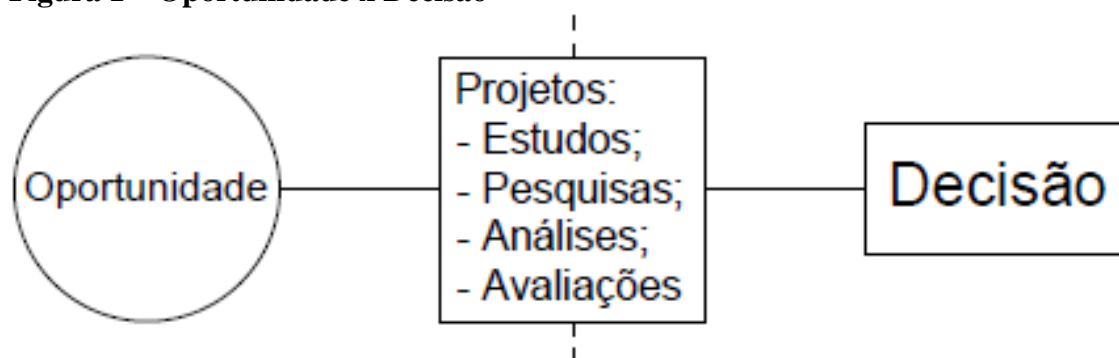
2.6 INDICADORES ECONÔMICOS

Com o grande avanço das indústrias e o constante surgimento de novas máquinas e tecnologias de produção em grande escala, a contabilidade tornou-se mais importante para as organizações cada vez maiores, pois os dados para valorização tendem a ser cada vez mais complexos. “A contabilidade é um sistema de contas composto por normas, regras e princípios para a acumulação, geração e análise de dados para atender necessidades interna ou externa.” (SANTOS, JOEL JOSÉ, p. 1, 2009).

Com o crescimento das empresas e a distância entre os administradores, os ativos e as pessoas, a contabilidade e análise de custos chega com objetivo de fornecer informações geradas a partir das demonstrações contábeis e indicadores econômicos que ajudam nas tomadas de decisões. “Qualquer atividade que manipule valores e volumes necessita de controle de custo, que nada mais é do que a verdadeira contabilidade.” (SANTOS, JOEL JOSÉ, p. 11, 2009).

De acordo com Werkema (2006, p. 111) indicador “é uma função que permite obter informações sobre características, atributos e resultados de um produto, processo ou sistema, ao longo do tempo”. Inegavelmente os indicadores econômicos são fundamentais para se elaborar um estudo de viabilidade de um projeto de investimento e tomar decisões sobre a sua implantação, sob o mesmo ponto de vista “o projeto de investimento é uma simulação da decisão de investir” (SOUZA; CLEMENTE, 2014 p. 9). A Figura 1 mostra a ligação entre a oportunidade e a tomada de decisão.

Figura 1 – Oportunidade x Decisão



Fonte: Adaptado de Souza e Clemente, (2014 p. 9).

Portanto, para uma análise completa e tomada de decisões sobre um projeto de investimento, devem ser utilizados diversos indicadores econômicos e financeiros.

Souza e Clemente (2014, p. 66) define que:

A decisão de fazer investimento de capital é parte de um processo que envolve a geração e a avaliação das diversas alternativas que atendam às especificações técnicas dos investimentos. Após relacionadas as alternativas viáveis tecnicamente é que se analisam quais delas são atrativas financeiramente. É nessa última parte que os indicadores gerados auxiliarão o processo decisório.

Nesta linha de consideração, fica claro que indicadores devem ser claros e objetivos, pois os resultados da análise trarão clareza para a tomada de decisão. Relacionado a isto, Souza e Clemente (2014, p. 66) explica que os indicadores de análise de projetos de investimentos são divididos em dois grupos:

[...] indicadores associados à rentabilidade (ganho ou criação de riqueza) do projeto e indicadores associados ao risco do projeto. Na primeira categoria estão os Valor Presente Líquido (VPL); o Valor Presente Líquido Anualizado (VPLA), Taxa Interna de Retorno, o Índice Benefício/Custo (IBC) [...] Na segunda categoria está Período de Recuperação do Investimento simples (*Payback*).

Inquestionavelmente, estes indicadores proporcionam aos *stakeholders*⁶ do projeto maiores informações para avaliar os riscos e retornos apresentados pelo investimento. Por consequência, maiores riscos tendem a gerar um maior retorno financeiro. Para possibilitar a elaboração e cálculo dos indicadores, é imprescindível que a empresa ou organização tenha conhecimento sobre os custos e despesas.

3 METODOLOGIA

Essa pesquisa é um estudo de campo, pois a pesquisa permite maior flexibilidade na coleta de dados a campo, conforme Marconi e Lakatos (2007). Neste sentido, o levantamento de dados e parâmetros de qualidade dos resíduos gerados pela empresa em estudo foi embasado em dados já existentes na própria empresa, bem como, em resultados de análises realizadas em laboratórios externos, como a avaliação do processo, análises físico-químicas, biológicas e testes de secagem do lodo.

A coleta do lodo foi realizada na saída da centrífuga desaguadora, em pequenas quantidades, aproximadamente 100 g em um período de 24 horas intercalados em intervalos de quatro em quatro horas. As amostras coletadas foram homogeneizadas e encaminhadas ao laboratório para análises.

O papel, o papelão e os paletes de madeira são resíduos que possuem características semelhantes às propriedades da madeira (cavaco), tanto na queima quanto nos gases de

⁶ *Stakeholders*: Patrocinadores do projeto.

combustão, pois são materiais derivados da mesma matéria-prima, não tendo a necessidade de testes de queima e análises de emissões gasosas. Mediante estes dados, calculou-se uma análise de custos de implantação de um sistema para a queima desses resíduos sem a necessidade de alterar suas características originais, como o lodo, que apresenta um teor de aproximadamente 80% de umidade.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Essa pesquisa demonstra o uso do lodo de uma estação de tratamento de efluentes, de uma agroindústria do Oeste Catarinense.

4.1 PROCESSO DE SEPARAÇÃO DO LODO

4.1.1 Flotadores

A separação do lodo do efluente tem início no flotador. A flotação no tratamento de efluentes separa líquidos de sólidos através de injeção de microbolhas de ar que arrastam as impurezas em suspensão para a superfície facilitando a remoção. O sistema opera com a redução de densidade das impurezas fazendo-as flutuar. Este equipamento possui um sistema de raspagem que carrega as impurezas suspensas na superfície até um reservatório denominado tanque de lodo. Na Figura 2 é possível visualizar uma ilustração do um equipamento para flotação.

Figura 2 – Flotador



Fonte: Catálogo Faé indústria de máquinas, (2018).

4.1.2 Centrífugas

Depois de armazenado no tanque de lodo, ocorre o processo de separação das fases através de um equipamento denominado de Centrífuga Tridecanter, este equipamento tem como principal função separar o lodo em três estágios, sendo eles a água, óleo e resíduo sólido.

Envolve a aplicação de uma força centrífuga que acelera a separação de diferentes densidades. A Figura 3, mostra uma centrífuga tridecanter.

Figura 3 – Centrífuga Tridecanter



Fonte: Catálogo Flottweg, (2018).

A água após a centrífuga tridecanter é transportada novamente para o tratamento através de motobombas centrífugas. O óleo é armazenado e aquecido para comercialização, já, os resíduos sólidos são direcionados para secagem, os quais são transformados em combustível para geração de vapor na caldeira.

4.2 PROCESSO DE SECAGEM DO LODO

4.2.1 Digestores

O processo de secagem pode ocorrer em digestores do tipo batelada ou em digestores contínuos. No processo em batelada, quando se processa o estágio de cozimento, o lodo gerado a partir da centrífuga tridecanter é carregado em um vaso de pressão onde é elevado a uma temperatura e a pressão do vaso. No cozimento o lodo é submetido a uma temperatura de 155 a 175 °C. Ao longo do digestor há estágios de cozimento determinados por temperatura.

O tempo de cozimento na temperatura máxima está na faixa de 1 a 2 horas, mantendo um tempo total de passagem no digestor de cerca de 4 horas. Após a secagem, o lodo é

transportado para um silo de armazenagem para então ser feita uma mistura juntamente com o cavaco de lenha que será queimado na caldeira. A proporção de mistura é de 40% de lodo para 60% de cavaco de lenha.

Figura 4 – Digestor Rotativo



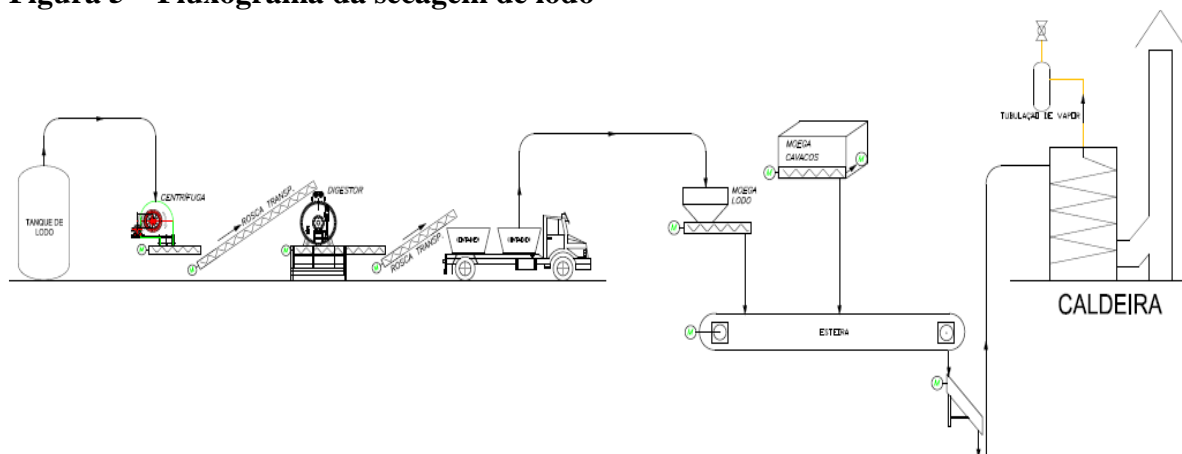
Fonte: Catálogo Frigmann Hermann (2018).

4.3 PROCESSO DE QUEIMA DO LODO NA CALDEIRA

4.3.1 Caldeira a cavaco

Após a secagem, o lodo é transportado para um silo de armazenagem para então ser feita uma mistura juntamente com o cavaco de lenha que será queimado na caldeira. A proporção de mistura é de 40% de lodo para 60% de cavaco de lenha. Esta mistura de cavaco de lenha com o lodo seco é transportada por uma esteira até um dosador que se encontra instalado na entrada de lenha da caldeira, este dosador tem como objetivo alimentar a fornalha da caldeira de forma contínua a medida de sua necessidade. O fluxograma de secagem está ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Fluxograma da secagem de lodo



Fonte: Dados da pesquisa, (2018).

4.3.2 Cálculo de ganho

Segundo o estudo da empresa Bermo Condução e controle de fluídos, em um cenário sem a implantação do projeto para queima do lodo seco na caldeira têm um consumo médio de 233,6 kg de lenha para gerar 01 (uma) tonelada de vapor. O custo por tonelada de vapor segundo o estudo é de R\$ 34,59 conforme mostra a Figura 7.

Figura 7 – Cálculo de custo na geração de vapor

<p style="text-align: center;"><u>Lenha (40% Umidade)</u></p> <p style="text-align: center;">584.000 + 2.500 kcal/kg</p> <p style="text-align: center;">233,6 kg lenha / ton vapor</p> <p style="text-align: center;">311,47 kg/ton = 0,69 m³ /ton vapor</p> <p style="text-align: center;">0,69 m³ / ton x R\$ 50,00 m³</p> <p style="text-align: center;">R\$ 34,59 ton de vapor</p>

Fonte: Adaptado de Bermo Tubos, (2018).

Se adicionarmos o lodo seco para queima na caldeira, podemos ter uma redução significativa no consumo de lenha. Conforme o artigo publicado pela UNOESC & CIÊNCIA Edição Especial (2015) foram realizados testes de consumo e eficiência da queima de lodo na caldeira. Adicionando 15% de lodo frigorífico em relação de massa a lenha.

Com base nos testes, o rendimento térmico ou a eficiência da caldeira, usando-se como combustível a biomassa de lenha em toras junto a um percentual de massa de 15% de lodo frigorífico primário (LFP) correspondeu a 81%. Com isso, observou-se que ao ser dosado lodo junto à lenha, no percentual de 15%, obteve-se uma redução de 17,6% no consumo de combustível. Seguindo esses resultados de redução e dos custos de geração de vapor mostrados na Figura 7, pôde-se calcular uma economia aproximada de R\$ 7,57 por tonelada de vapor gerado.

Além da redução do consumo de combustível para a caldeira, o estudo visa eliminar os custos com empresas terceirizadas para a disposição do lodo de efluente em aterros, prática comum das indústrias. Calculando o retorno financeiro baseado em um abatedouro de aves com capacidade de abate de 10.000 aves/hora, podemos obter um bom retorno financeiro conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5: Cálculo de viabilidade para instalação de sistema de secagem**SITUAÇÃO ATUAL**

	Geração ton	Custo/ton	Transporte	Disposição	Custo total mês
Geração de lodo biológico	238	R\$ 120,00	R\$ 17.136,00	R\$ 11.424,00	R\$ 28.560,00
Geração de lodo flotado	200	R\$ 120,00	R\$ 14.400,00	R\$ 9.600,00	R\$ 24.000,00
Custo atual com disposição (lodo flotado + biológico)					R\$ 52.560,00

SITUAÇÃO PROPOSTA

Investimentos necessários	Qt	Valor uni	Valor Total
Secador de lodo	1	R\$ 925.467,50	R\$ 925.467,50
Energia elétrica	23800	R\$ 0,36	R\$ 8.568,00
Consumo de água	2160	R\$ 0,64	R\$ 1.382,40
Transporte de lodo biológico	238	R\$ 40,00	R\$ 9.520,00
Manutenção do equipamento	1	R\$ 233,00	R\$ 233,00
Custo operacional mensal			R\$ 19.703,40

CÁLCULO DE PAY BACK

Custo com disposição atual	R\$ 52.560,00
Custo operacional do sistema	R\$ 19.703,40
Expectativa de ganho	R\$ 32.856,60
Investimentos necessários	R\$ 925.467,50
Retorno do investimento	28 meses

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

A Tabela 5 demonstra os valores de investimentos, bem como a demonstração dos custos atuais com a disposição de resíduos e o aumento de custo operacional. Realizando o cálculo da *payback* direto do investimento de R\$ 925.467,50, se obtém um retorno financeiro em 28 meses, considerando uma recuperação mensal de R\$ 32.856,60.

4.3.3 Representação gráfica

Com o auxílio do software MATLAB podemos calcular e construir gráficos para resolver problemas numéricos em apenas uma fração de tempo. Um sistema interativo cujo elemento básico de informação é uma matriz que não requer dimensionamento.

Pelo método dos mínimos quadrados $S = \sum_{i=1}^m [f(xi) - m(xi)]^2$, que consiste em um modelo matemático linear nos parâmetros obtidos para o poder calorífico em função da umidade, obtemos uma função que reflita na generalidade o comportamento dos dados. Esse

comportamento do poder calorífico pode ser descrito, portanto, pela função linear $f(x) = -0,2041x + 20,3863$. A partir desta função podemos prever e otimizar a quantidade ideal de lodo apresentado, conforme representa o Gráfico 1.

Gráfico 1 – Relação da umidade do lodo x poder calorífico

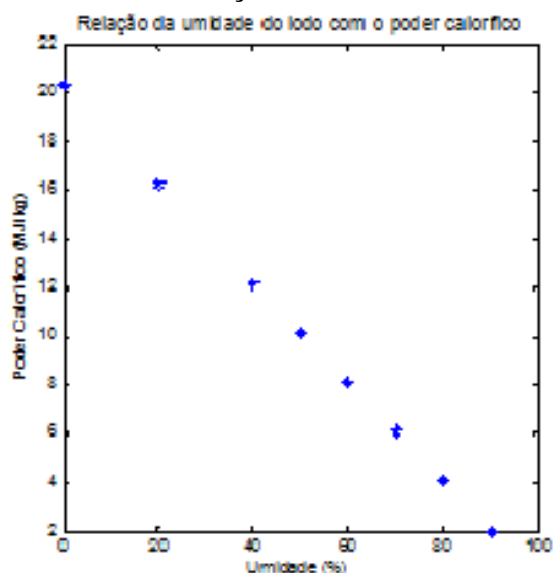


Gráfico 1: Relação da umidade do lodo com o poder calorífico

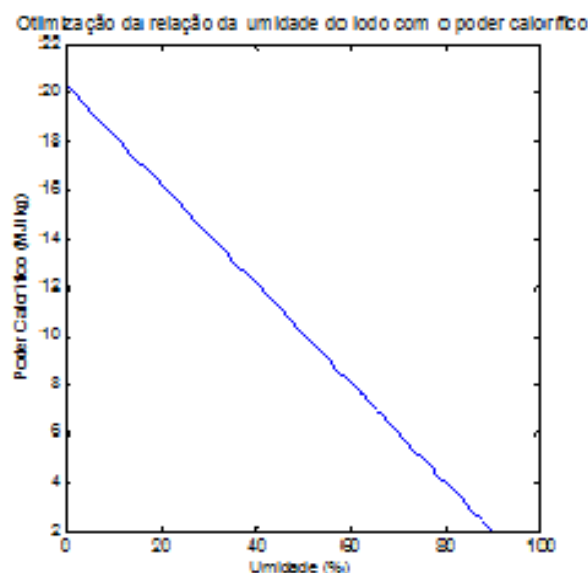


Gráfico 2: Otimização da relação da umidade do lodo com o poder calorífico

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Conforme o Gráfico 01 ilustrado, pode-se ver que quanto menor for a umidade, maior o poder calorífico do combustível. No Gráfico 02 pode-se ver que este combustível está otimizado, ou seja, a umidade é diferentemente proporcional ao poder calorífico, tornando-o mais eficiente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo evidenciou a avaliação de reaproveitamento de resíduos sólidos industriais como o lodo de efluentes para queima na caldeira utilizando como biomassa combustível na geração de energia. A queima do lodo seco na caldeira tem um consumo médio de 233,6 kg de lenha para gerar uma tonelada de vapor. Segundo o estudo, o custo por tonelada de vapor é de R\$ 34,59.

Conforme estudos da UNOESC & CIÊNCIA - ACET Joaçaba, a biomassa de lenha em toras junto a um percentual de massa de 15% de lodo frigorífico primário (LFP) correspondeu

a 81%. Com isso, observou-se que ao ser dosado lodo junto à lenha, no percentual de 15%, obteve-se uma redução de 17,6% no consumo de combustível.

Seguindo os resultados de redução destes testes e dos custos de geração de vapor mostrados na Figura 7, pôde-se calcular uma economia de aproximadamente R\$ 7,57 por tonelada de vapor gerado, apresentando um valor significativo em termos econômicos que somados a esta redução de consumo da lenha temos um ganho com a redução da disposição para aterro que baseado em uma indústria de abate de aves com capacidade de 10.000 aves/hora é de R\$ 52.560,00.

Através de cálculos do programa Matlab, com os parâmetros obtidos para o poder calorífico em função da umidade, obteve-se uma função em modelo linear onde pode-se prever e otimizar a quantidade ideal de lodo para o processo de reaproveitamento.

Analisando todos estes valores chega-se à conclusão de que mesmo com o aumento do custo operacional, energia elétrica e de vapor que o sistema exige, pode-se ter um bom retorno financeiro com a implantação do projeto. Além dos ganhos financeiros já especificados, este sistema pode trazer benefícios para o meio ambiente, devido a diminuição dos resíduos enviados para disposição em aterro, contribuindo para um desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIA

ANEEL. **ATLAS**. Disponível em [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf). Acesso em maio de 2017.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos sólidos classificações. NBR 10004 segunda edição. 2004.

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.

CARVALHO, J. A.; MCQUAY, M. Q.. **Princípios de Combustão Aplicada**. Florianópolis: UFSC, 2007.

CONAMA (2002), Resolução CONAMA nº 316. **Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos**. – Data da legislação: 20/11/2002 - Publicação DOU nº 224, págs. 92-95 - Alterada pela Resolução nº 386, de 2006.

DE SENA, R. F.; **Avaliação da biomassa obtida pela otimização da flotação de efluentes da indústria de carnes para geração de energia**. Dissertação de Mestrado. EQA/UFSC, Florianópolis, fev. 2005.

FONTES, C.M.A.. **Potencialidades da cinza de lodo de Estações de Tratamento de Esgotos como material suplementar para a produção de concretos com cimento Portland**. Dissertação de Msc. UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.

MARCONI, M. de A; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 6 ed. 5. Reimp. São Paulo: Atlas, 2007.

MELO, W.J., Marques, M.O.; Melo, V.P. “**O uso agrícola do biossólido e a suas propriedades do solo**”. In: Biossólido na agricultura. Cap. 12. Sabesp, Escola Politécnica – USP, ESALQ-USP/Nupegel, UNESP – Jaboticabal. São Paulo, 2001.

SANTOS, Joel José. **Contabilidade e análise de custos: modelo contábil, Métodos de depreciação. ABC – Custeio baseado em Atividades, análise atualizada de encargos sociais sobre salários**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SOUZA, Alceu; CLEMENTE, Ademir. **Decisões financeiras e análise de investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 4. reimpr..

UNOESC&CIÊNCIA - **ACET** Joaçaba, Edição Especial, p. 7-14, 2015.

VAN VOORNEBURG, F.; van VEEN, H. J. **Treatment and disposal of municipal sludge in the Netherlands. Journal of the Institution of Water and Environmental Management**, v.7, p.117-121, 1993.

WERTHER, J.; OGADA, T. **Sewage sludge combustion. Progress in Energy and Combustion Science**, 25, p. 55-116, 1996.

ZHENG, G.; KOZIN'SKI, J.A. **Thermal events occurring during the combustion of biomass residue**. Fuel. v. 79, p. 181–192, 2000.