

AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DA CO-COMBUSTÃO DE LODO FRIGORÍFICO PRIMÁRIO PARA GERAÇÃO DE VAPOR

Cristiano Meneghini (*), Renan Proinelli, Daniela A. B. Pintro

* Universidade do Oeste de Santa Catarina, cristiano.meneghini@unoesc.edu.br

RESUMO

A indústria frigorífica produz uma quantidade significativa de resíduos em seus processos produtivos, dentre estes está o Lodo Frigorífico Primário (LFP), matéria gerada a partir do tratamento de efluentes líquidos. Este possui um elevado custo de destinação aos aterros sanitários, tendo potencial energético inutilizado, gerando subprodutos. A queima do LFP em condições favoráveis contribui na produção de energia térmica e elétrica. O estudo foi realizado em um frigorífico do meio oeste catarinense, onde teve como objetivo analisar a viabilidade do potencial térmico do LFP, através da co-combustão em uma caldeira à lenha, respeitando as leis ambientais pertinentes. Os resultados obtidos levaram a concluir que incrementou-se em 4% o rendimento térmico da caldeira e uma redução no consumo de lenha na caldeira de 17,6%. Determinou-se também que o LFP não deve ser queimado em percentuais acima de 15% em relação de massa total, sendo essa relação ideal para queima.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo Frigorífico Primário, Caldeira, Rendimento térmico.

INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos provenientes de processos de tratamento de efluentes industriais e sanitários é uma questão de grande relevância na agenda ambiental da maioria dos países. Neste cenário de grande urgência mundial, vários estudos estão sendo desenvolvidos a respeito da gestão alternativa do lodo industrial, dentre eles está seu emprego como fonte energética. Um exemplo típico é a queima de resíduos sólidos em caldeiras, já que o vapor é extremamente necessário na indústria em geral.

A norma técnica NBR 10004 de 2004 (ABNT) classifica os resíduos sólidos em níveis diferentes de periculosidade, envolvendo a identificação do processo ou atividade que lhe deu origem, seus constituintes e características, considerando assim possíveis riscos ambientais e à saúde pública. Os lodos provenientes dos tratamentos de águas, são caracterizados por esta norma como resíduos sólidos, portanto, devem ser tratados e dispostos dentro dos critérios por ela definidos.

A resolução nº 357 de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), determina condições que devem ser respeitadas acerca do lançamento de toda fonte poluidora, direta ou indiretamente nos corpos de água. Tais condições impedem o lançamento, sem tratamento prévio, do lodo produzido nas estações de tratamento de água, devido à grande concentração de sólidos sedimentáveis presentes nesse resíduo. Contudo essa legislação exige maiores cuidados com a disposição do lodo e tratamento da água, gerando altos custos, tornando cada vez mais justificável a minimização de descartes. Vale ressaltar aqui a Lei Nº 12.305, de 2 de Agosto 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, onde restringe a utilização de aterros sanitários para resíduos que não são passíveis de reutilização.

Esse trabalho visa o estudo da viabilidade técnica, econômica e gestão ambiental da aplicação do lodo frigorífico primário como fonte de energia térmica, através da co-combustão em uma caldeira a vapor, levando em consideração as leis ambientais em vigor, e respeitando a emissão de gases poluentes e a destinação de resíduos sólidos.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Nogueira (2005), o mais importante gerador de vapor é a caldeira, que basicamente é um trocador de calor que trabalha com pressão superior à pressão atmosférica local, produzindo vapor a partir da combustão fornecida por uma fonte energética de um determinado poder calorífico. A caldeira é constituída por diversos equipamentos integrados para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível. Os produtos da combustão na caldeira são tipicamente gasosos. Entretanto, os elementos químicos do combustível que não se oxidam ou já estão oxidados irão constituir as cinzas da combustão. De acordo com Nogueira (2005) a energia térmica fornecida durante a queima dos combustíveis pode ser avaliada por seu poder calorífico, em geral, apresentado para sólidos e líquidos por unidade de massa e para gases por unidade de volume, referidas neste caso a pressão atmosférica e a temperatura de 0°C. São definidos dois tipos

de poder calorífico, o Poder Calorífico Superior (PCS), quando a água está na forma líquida, estado típico nas condições de ensaio de combustíveis, pouco aplicado em situações práticas, e Poder Calorífico Inferior (PCI), quando a água apresenta-se como vapor, situação que efetivamente ocorre nos produtos de combustão nas chaminés. O PCI deve ser utilizado para o cálculo do rendimento de uma caldeira.

No que se trata da destinação de resíduos sólidos de frigoríficos, adota-se a NBR 10004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), para classificação dos resíduos sólidos em diferentes níveis de periculosidade, envolvendo a identificação do processo ou atividade que lhe deu origem, seus constituintes e características, assim considerando possíveis riscos ambientais e a saúde pública. Os lodos provenientes dos tratamentos de águas, são caracterizados por esta norma como resíduos sólidos, portanto, devem ser tratados e dispostos dentro dos critérios por ela definidos. E uma das mais importantes nesse âmbito, a Resolução nº 316 do CONAMA, define como resíduos os materiais ou substâncias que sejam inservíveis, ou não, passíveis de aproveitamento econômico, resultantes de atividades de origem industrial, urbana, serviços de saúde, agrícola e comercial.

No balanço energético aplicado em caldeiras, deve ser levada em conta a energia térmica requerida e a energia térmica disponível. A energia térmica requerida ou necessária é obtida conhecendo-se a vazão mássica de vapor saturado vezes a diferença de entalpia da água antes e depois da caldeira. Já a energia disponível é o próprio Poder Calorífico Inferior do Combustível (PCI), necessário para a combustão, vezes a vazão mássica desse combustível. A razão da energia requerida pela energia disponível fornece o rendimento térmico de uma caldeira qualquer. Quanto maior seu rendimento, menor a quantidade de biomassa utilizada para produzir a mesma quantidade de vapor.

Segundo Bazzo (1995), toda análise energética é fundamental para garantir um bom controle do equipamento e da energia liberada pelo processo da combustão. Uma avaliação completa da energia envolvida no processo deve considerar todo o calor gerado no interior da fornalha, calor associado aos fluxos de massa, a ocorrência de combustão parcial e calor perdido para o meio ambiente por condução, convecção e radiação. O rendimento ou eficiência térmica de uma caldeira pode ser calculado pela equação 1.

$$\eta_T = (\dot{m}_v(h_v - h_i)) / (\dot{m}_{cb} \cdot \text{PCI}) \quad (\text{equação 1})$$

onde, η_T é o rendimento térmico da caldeira, \dot{m}_v a vazão mássica de vapor em kg/s, h_v a entalpia de vapor saturado em kJ/kg, h_i a entalpia da água de alimentação da caldeira em kJ/kg, \dot{m}_{cb} a vazão mássica do combustível em kg/s, e PCI o poder calorífico do combustível obtido de acordo com sua composição química em kJ/kg. Deve-se lembrar de que o controle adequado da combustão é indispensável para manter um bom rendimento térmico da caldeira.

A principal biomassa utilizada para geração de energia na caldeira analisada é a lenha, geralmente da espécie eucaliptos. O LFP é a biomassa em estudo, obtida a partir do tratamento físico-químico de efluentes frigoríficos. Os resíduos provenientes dos processos frigoríficos passam por tubulações que vão dos abatedouros e setores de industrialização até a unidade de tratamento de efluentes, e por elas passam os resíduos que não são utilizados para a produção de farinha e ração. Esses são destinados a um tanque de equalização, onde através de agitadores busca-se uma homogeneização das partículas sólidas presentes na água. Após esse processo, a água homogeneizada é bombeada aos flotores, que tem como princípio, a maior redução de sólidos possíveis no efluente, através de adição de aglomerantes (mais precisamente o composto químico cloreto férrico) e floculantes (polímeros) seguida pela adesão destas partículas às bolhas que ascendem nos tanques de flotação, onde a matéria suspensa é removida através de raspagem por pás.

Após passar pela flotação, o lodo com teor médio de 90% de umidade, deve ser destinado para o tanque de fervura, por um tempo de aproximadamente uma hora, com o intuito de facilitar a separação das partículas líquidas e sólidas. Em seguida, o lodo é separado em um tridecanter através de centrifugação. Após sair da centrífuga, o lodo pode ser destinado para aterros sanitários ou ser inserido no processo de secagem, para se tornar combustível auxiliar na caldeira, reduzindo conseqüentemente o consumo de lenha na caldeira. O lodo primário antes de passar pelo secador possui uma umidade média de 60%. Após passar através do secador, por aproximadamente 20 minutos, sua umidade é reduzida para níveis entre 10% a 15%, havendo uma diminuição média de cinco vezes em seu volume. Atualmente são gerados 47,6 m³ por dia de lodo frigorífico primário seco.

A combustão da biomassa é considerada um processo complexo, que envolve transferências de calor e massa de maneira simultânea, com a presença de reações químicas e fluxo de fluidos. No caso de combustíveis sólidos, a energia liberada é uma consequência direta das reações que envolvem principalmente o carbono, hidrogênio e enxofre (BAZZO, 1995).

METODOLOGIA

Com o intuito de atingir os objetivos do estudo, foram coletados os dados para determinação da umidade da lenha e do lodo, poder calorífico inferior (PCI) dos mesmos, densidade e vazão mássica de lenha, pressão de trabalho da caldeira, emissões gasosas e custos nos processos de secagem do lodo. As etapas detalhadas são descritas a seguir.

Para a determinação da umidade da lenha e do lodo frigorífico, foram coletadas dez amostras, obtendo-se sua umidade média por amostragem. No cálculo do PCI da lenha levou-se em consideração sua umidade média, sendo seu valor determinado por interpolação. Já para a determinação do PCI do lodo frigorífico, as amostras foram enviadas para o laboratório de análise química, onde se obteve a composição química e posterior cálculo do poder calorífico inferior.

A massa específica ou densidade da lenha foi obtida através da medição de 35 metros cúbicos de lenha e levantamento do seu valor médio de massa específica. Na determinação da vazão mássica da lenha foi multiplicado o volume consumido (baseado em tabelas de monitoramentos já existentes) pela massa específica da lenha utilizada. A identificação da emissão de poluentes gasosos no processo de combustão, gerados pela co-combustão, foi obtido através do uso do aparelho de medição de gases Testo 335. Com essas informações foram determinadas as variáveis de interesse e o respectivo rendimento da caldeira, com a utilização de 10%, 15% e 20% de lodo frigorífico em massa na combustão da caldeira. Os resultados dessas análises serão apresentados no próximo capítulo. Além disso, foram levantados todos os custos dos processos envolvidos nesse estudo e analisados históricos pertinentes também, para a respectiva análise da viabilidade econômica.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como já comentado, o emprego do Lodo Frigorífico Primário como fonte energética através da co-combustão na caldeira aparenta ser uma solução atrativa. Para tal propósito, deve-se viabilizar o estudo dessa aplicação através da obtenção da análise elementar, imediata e poder calorífico de amostras do lodo primário. Para obter tais propriedades físico-químicas, foram coletadas amostras de LFP em condições normais de operação do tratamento de efluentes, e enviadas para análise laboratorial.

Devido à grande urgência com relação à destinação adequada de resíduos sólidos, em virtude das restrições sanitárias e o alto custo para destinação, o emprego do Lodo Frigorífico Primário como fonte energética através da combustão na caldeira pode ser uma solução atrativa tecnicamente e financeiramente. Para tal propósito, deve-se viabilizar o estudo dessa aplicação através da obtenção da análise elementar, análise imediata e poder calorífico de amostras do lodo primário. Para obter tais propriedades físico-químicas, foram coletadas amostras de LFP em condições normais de operação do tratamento de efluentes, e enviadas para análise laboratorial. As propriedades do lodo obtidas a partir das amostras de lodo em base seca, coletadas em condições de operação normais apresentam valores de carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, enxofre e umidade, que são essenciais para o cálculo do Poder Calorífico Inferior (Tabela 1). Seu elevado PCI é justificado pela baixa umidade do lodo, e considerável quantidade de carbono presente no LFP.

Os testes com uso de lodo adicionado a lenha foram feitos com percentuais de 10%, 15% e 20% de lodo em relação à massa total de combustível consumida por hora, sendo o objetivo dos testes a determinação do percentual máximo de lodo que pode ser queimado na caldeira. Esses testes foram realizados em determinados períodos do dia, pois a produção de lodo atinge somente 6% da massa total de lenha consumida diariamente. A dosagem de lodo injetada na caldeira foi controlada através de um inversor de frequência, para garantir a precisão da dosagem. Os testes foram efetuados com a caldeira em condições de operações normais em horários diferentes do dia.

Durante a queima foram analisados os níveis de emissões gasosas, a fim de respeitar os níveis máximos permitidos pela legislação vigente. Os resíduos sólidos gerados pela combustão (cinzas) foram analisados quanto à quantidade e o estado em que se encontram. De acordo com as características finais das cinzas, a queima pode danificar a estrutura da caldeira, baixando sua eficiência, e causando problemas operacionais. Devem-se atentar as características iniciais do lodo também devem ser levadas em conta, pois se o lodo estiver "queimado" quando sai do secador, o mesmo não tem efeito nenhum na caldeira.

Tabela 1. Dados da análise imediata, análise elementar e do poder calorífico do LFP - Fonte: Autor do trabalho.

Análise Imediata	
Resíduo Mineral Fixo (Cinzas) (%)	17,51
Sólidos Voláteis (%)	64,22
Sólidos Totais (%)	81,74
Umidade (%)	12,80
Análise Elementar	
Carbono (%)	31,50
Oxigênio (%)	18,60
Hidrogênio (%)	11,50
Nitrogênio (%)	11,50
Enxofre (%)	0,310
Poder Calorífico	
Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)	4310
Poder Calorífico Superior (kcal/kg)	4800

A relação de eficiência energética da caldeira foi obtida através de cálculo e comparada com os valores obtidos pelo aparelho de medição Testo 335. O poder calorífico inferior (PCI) utilizado para o cálculo da eficiência energética, foi obtido através do somatório dos percentuais de lodo e lenha, multiplicados pelos respectivos PCI.

Usando apenas lenha, o rendimento térmico da caldeira foi de 76%, obtido através da equação 1, considerando $h_1 = 610,61 \text{ kJ/kg}$ e $h_v = 2802,5 \text{ kJ/kg}$, $\dot{m}_v = 42,86 \text{ t/h}$, $\dot{m}_{cb} = 13,38 \text{ t/h}$ e $\text{PCI} = 9183,68 \text{ kJ/kg}$. Os valores de h_1 e h_v são obtidos diretamente das tabelas termodinâmicas nas condições de pressão e temperatura em questão. O rendimento térmico calculado é válido para regimes de operação normal, valor esse aceitável para caldeiras a lenha. A eficiência energética também foi obtida através de medições com o equipamento Testo 335, a fim de comparar os resultados obtidos por cálculo. Os valores médios de eficiência térmica junto à emissão de gases e temperatura da chaminé, esses obtidos em quatro dias de testes em horas alternadas, demonstram que os valores medidos de CO e CO₂ estão dentro da normalidade, como mostra a Tabela 2. Os valores da eficiência medida e calculada ficaram muito próximos também.

Tabela 2. Dados médios obtidos queimando apenas lenha - Fonte: Autor do trabalho.

O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (mg/Nm ³)	Excesso de Ar (%)	Temperatura Chaminé (°C)	Eficiência (%)
7,06	11,93	103,28	63,50	185,21	77,17

Para o cálculo do rendimento térmico com 10% de lodo frigorífico, considerou-se a mesma vazão de vapor, e as mesmas temperaturas e pressões para obtenção das entalpias usadas no cálculo aplicado para eficiência com apenas lenha. Baseado nisso, o rendimento térmico da caldeira foi de 79% usando como combustível a biomassa de lenha juntamente com um percentual em massa de 10% de LFP. Observou-se ainda que, com a dosagem de 10% de lodo obteve-se uma redução significativa de 11,2% no consumo de lenha. A Tabela 3 mostra os valores de eficiência térmica, emissão de gases e temperatura da chaminé, obtidos em quatro dias de testes também, onde apontam que seus valores estão dentro do esperado, com exceção da eficiência que aumentou para 80,38% e o CO médio atingiu 821,83 mg/Nm³, cerca de 8 vezes maior que o valor usando apenas lenha.

A queima simultânea de lodo e lenha aumentou significativamente a quantidade de cinzas presentes na caldeira durante os testes, o que representou 25% a mais de cinzas geradas. Isso se justifica pelo fato de que o teor de cinzas presente no lodo é superior ao da lenha. Essa variação obtida se dará semelhante nos estudos com percentuais maiores de lodo. A queima do lodo favorece ainda a ocorrência de formação de depósitos e incrustações nas paredes da fornalha, o que pode vir a interferir na troca térmica. A concentração de monóxido de carbono (CO) medida está abaixo do valor máximo estabelecido pela norma do Conama, através da Resolução nº 382 de 2006, que é de 1300 mg/Nm³, permitindo assim a queima de 10% de lodo em relação a massa total.

Tabela 3. Dados obtidos queimando lenha e 10% de LFP – Fonte: Autor do trabalho.

O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (mg/Nm ³)	Excesso de Ar (%)	Temperatura Chaminé (°C)	Eficiência (%)
7,69	11,33	821,83	71,94	189,33	80,38

Assim como o cálculo anterior, foram mantidos os mesmos valores de massa de vapor e entalpias para o cálculo com 15% de lodo frigorífico em massa. Com base nesses valores, o rendimento térmico calculado ou eficiência (Equação 1) da caldeira usando como combustível a biomassa de lenha juntamente a um percentual de massa de 15% de LFP correspondeu a 81%. Com isso, observou-se que ao ser dosado lodo junto a lenha, obteve-se uma redução de 17,6% no consumo de lenha na caldeira.

Testes realizados durante quatro dias demonstram que a temperatura da chaminé, CO₂ e excesso de ar mantêm-se constantes. O O₂ demonstrou um rápido aumento, em paralelo com a eficiência que teve um acréscimo significativo, consumindo menos lenha na caldeira. Os valores de CO médio apontaram 1084 mg/Nm³, representando um aumento de 10 vezes em relação ao uso inicial com lenha, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4. Dados médios obtidos queimando lenha e 15% de LFP – Fonte: Autor do trabalho.

O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (mg/Nm ³)	Excesso de Ar (%)	Temperatura Chaminé (°C)	Eficiência (%)
8,31	11,58	1084,00	70,74	189,15	82,74

Observou-se nos resultados apresentados que até 15 % de LFP pode ser utilizado na caldeira em conjunto com a lenha, atendendo os valores permitidos de CO. Além disso, o estudo demonstra que a eficiência da caldeira aumenta, o que é consequência da redução do consumo de combustível em relação ao aumento do PCI dos combustíveis, analisando a Equação 1. A quantidade de cinzas geradas pela combustão do lodo e lenha ficou delimitada pela quantidade de lodo gerado diariamente na unidade, tendo valores maiores ao teste anterior, mas não estimados.

Com isso, conclui-se que a mistura LFP com teor de 15% é válida para a queima, listando-se os principais benefícios: (i) Baixo impacto estrutural, (ii) Aumento da eficiência energética da caldeira, (iii) redução no consumo de combustível, e (iv) emissão de CO dentro dos padrões determinados pela legislação ambiental.

O último teste realizado foi com uso de 20% em massa de LFP na caldeira. Para o cálculo do rendimento térmico com 20% de lodo frigorífico primário manteve-se a mesma vazão de vapor, temperaturas e pressões para obtenção das entalpias usadas no cálculo. Assim, o rendimento térmico da caldeira em condições de operação normal, usando como combustível a biomassa de lenha em toras junto a um percentual de massa de 20% de LFP correspondeu a 84%, tendo uma redução de 23,7% no consumo de combustível total.

Os testes usando o aparelho Testo 335 seguem o mesmo padrão de coleta de dados estabelecidos anteriormente. Vários testes realizados em um único dia, já apresentaram valores de CO médio muito acima do permitido pela legislação (Tabela 5), além dos demais parâmetros já relatados acima. Não observou-se uma variação significativa no excesso de ar utilizado na caldeira, e nem a temperatura dos gases de combustão que deixam a chaminé da caldeira. Apenas o O₂ apresentou um pequeno aumento proporcional ao incremento do LFP.

Tabela 5. Dados médios obtidos queimando lenha e 20% de LFP – Fonte: Autor do trabalho.

O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (mg/Nm ³)	Excesso de Ar (%)	Temperatura Chaminé (°C)	Eficiência (%)
8,97	12,10	1926,00	67,00	192,73	86,70

Na Tabela 5, pode-se observar que a queima de 20% do LFP é inviável do ponto de vista ambiental, pois a concentração de CO é superior à permitida. Sendo assim não foram levantados dados aprofundados a respeito de incrustações geradas pela queima e qualidade das cinzas e demais parâmetros qualitativos nessas condições. E assim, os resultados apontaram que a queima de 15% em massa na caldeira de LFP é viável tecnicamente.

Num comparativo da eficiência calculada e medida para as diferentes porcentagens de LFP utilizados na queima, observa-se que a relação do aumento da eficiência é quase linear (Figura 1). Além disso, observa-se uma boa correlação entre o aumento do LFP na combustão e incremento na eficiência térmica. Para os quatro casos analisados, o erro relativo máximo encontrado foi de 3,2%, considerado aceitável, já que são inúmeros os parâmetros que afetam o desempenho de uma caldeira geradora de vapor.

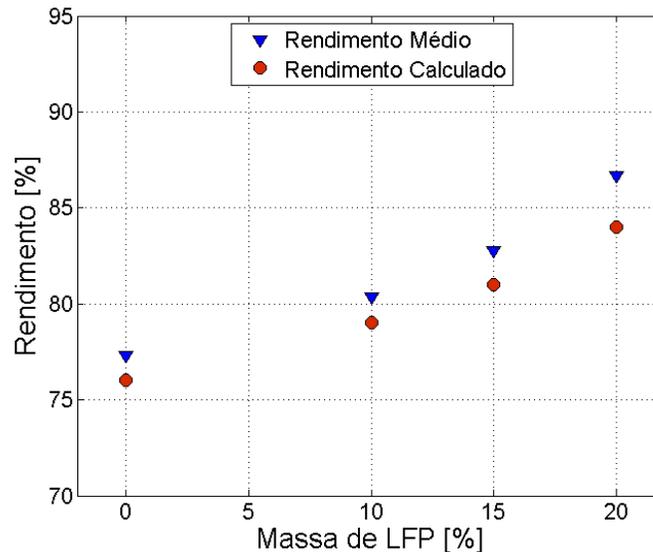


Figura 1: Comparação do rendimento calculado e médio. Fonte: Autor do trabalho.

A Figura 2 mostra uma comparação dos níveis de CO ao longo dos testes utilizando apenas lenha na combustão, e a combinação de lenha e LFP. A combustão com apenas lenha na caldeira não elevou os níveis de CO acima de 200 mg/Nm³, enquanto que 10% de LFP na co-combustão gerou uma elevação significativa nos níveis de CO. A variação nos resultados apresentados na Figura 2 pode ser compreendida pela influência de diversos parâmetros que atuam no funcionamento da caldeira, como excesso de ar, perdas de energia por falta de isolamento, variação da umidade da lenha e do LFP, entre outros fatores.

Uma análise econômica da implantação dessa proposta também foi realizada. Além dos custos com aquisição do secador de lodo, e de sua implantação, outros custos foram gerados no novo processo e devem ser considerados na análise de viabilidade. Entre eles estão os custos operacionais do secador, custo energético mensal do novo equipamento, custo energético do processo de dosagem do lodo na caldeira, custo do cavaco de lenha usado na secagem do lodo, custo com transporte do lodo e do cavaco até o secador e para a caldeira, e custo adicional com destinação de cinzas.

A análise dos custos de implantação foi realizada individualmente, dando ênfase a cada um dos custos citados acima. O custo de manutenção mensal do equipamento não será considerado, devido ao pequeno histórico de falhas, o que nos leva a concluir que uma manutenção corretiva é válida. O valor total desses custos de implantação ultrapassou 1,2 milhões de reais. Nessa análise também foi levado em conta os custos totais com transporte e destinação propícios dos resíduos sólidos que se pretende queimar na caldeira.

Por fim, para facilitar a identificação do tempo de retorno de investimento inicial (valor gasto na aquisição do secador rotativo) foi adotado o método do *payback* não descontado, onde não leva em consideração a taxa de juros, sendo um meio simples e de fácil compreensão para análise de investimentos. Fez-se a análise dividindo o valor de implantação do secador rotativo, pelo benefício obtido mensalmente, determinando-se assim o tempo necessário para que os benefícios se igualem ao investimento. O tempo de retorno do investimento calculado ficou em torno de nove meses, e após esse período o equipamento trará um benefício mensal superior a 144 mil reais, considerando a depreciação do equipamento, e a sua vida útil de dez anos.

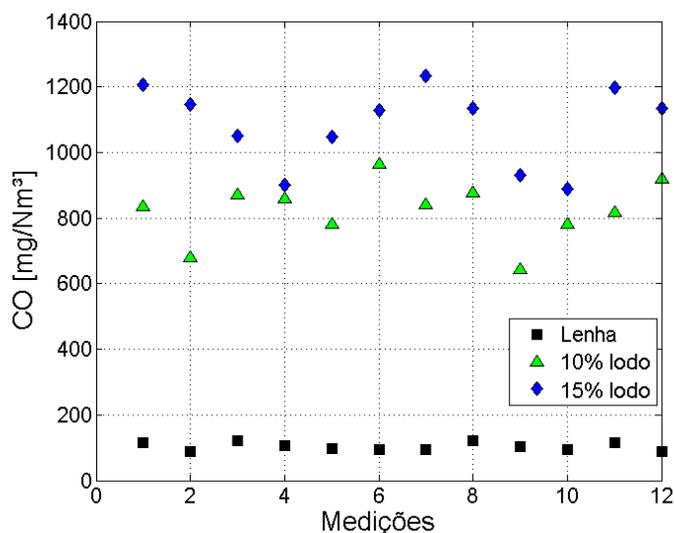


Figura 2: Comparação do CO utilizando lenha, 10% e 15% de LFP. Fonte: Autor do trabalho.

CONCLUSÃO

Em relação ao estudo desenvolvido, conclui-se que o emprego do lodo frigorífico como fonte de energia, o ponto ótimo de queima do LFP quanto aos índices de emissão de poluentes, e a respeito da viabilidade econômica da implantação do secador de lodo para a posterior queima em caldeiras podem ser considerados positivos e importantes na cadeia produtiva.

No que se diz respeito ao emprego como fonte de energia térmica a partir da co-combustão, o lodo frigorífico primário mostrou-se eficiente, resultado esse já esperado desde a obtenção do elevado poder calorífico, favorecendo assim a produção de vapor, aliado a uma significativa redução no consumo do combustível principal. De acordo com os testes realizados observou-se também que quanto maior a porcentagem de lodo misturado à lenha, maior a ocorrência de problemas relacionados à fusão das cinzas e corrosão, afetando a estrutura da caldeira.

Em análise a emissão de poluentes gasosos gerados pela combustão de LFP ficou notável que deve-se delimitar percentuais ideais de lodo para a queima, balanceando ganho de eficiência energética e emissão de poluentes atmosféricos, afim de respeitar as leis ambientais vigentes no país em questão.

A respeito da viabilidade da instalação do secador rotativo de lodo, obteve-se um retorno positivo do investimento, sendo a instalação recomendada em abatedouros com condição de geração e tratamento de efluentes semelhantes. Como sugestão para trabalhos futuros recomenda-se o estudo da viabilidade técnica da queima do LFP na co-combustão com outros combustíveis, analisando o comportamento da máquina térmica e a emissão dos gases.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: 2004. Resíduos Sólidos - Classificação. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
2. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 316, de 29 de outubro de 2002. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 20 nov. 2002. Seção 1, p. 92-95. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=338>>. Acesso em: 01 de julho de 2015.
3. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 382, de 26 de dezembro de 2006. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res38206.pdf>>. Acesso em: 01 de julho de 2015.
4. BAZZO, Edson. Geração de Vapor. Florianópolis, SC: Editora da UFSC, 1995.
5. NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. Eficiência Energética no Uso de Vapor. 1. ed. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2005. 196 p.
6. SANTOS, A. H. M. et al. Conservação de Energia: Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos. 3. ed. Minas Gerais: Itajubá, 2006. 621p.