

II-358 - MÉTODO PARA A SELEÇÃO DE SECADORES TÉRMICOS DE LODO PROVENIENTE DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO

Lucas Vançan Prata⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

Gustavo Rafael Collere Possetti

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Engenheiro Eletricista pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre e doutor em Ciências pela UTFPR. Gerente da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da SANEPAR. Professor do Programa de Mestrado Profissional em Governança e Sustentabilidade do Instituto Superior de Administração e Economia do Mercosul (ISAE-FGV).

Rafaela da Silva Limons

Engenheira Ambiental. Mestre em Engenharia Química. Doutoranda em Gestão Urbana. Departamento de Engenharia Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, PR.

Endereço⁽¹⁾: Rua Flórida, 170 - Barreirinha - Curitiba - PR - CEP: 82560-130 - Brasil - Tel.: (41) 99179-3336
e-mail: lucasvprata@gmail.com

RESUMO

Dentre os processos de tratamento do lodo de esgoto existentes, necessários para possibilitar a reutilização deste resíduo, destaca-se que a secagem térmica. Essa prática realiza a higienização e uma alta redução no volume do lodo, ao realizar a elevação de sua temperatura, por meio da utilização de equipamentos denominados de secadores térmicos, dentre os quais se verifica uma ampla variedade de modelos disponíveis no mercado, resultando em uma dificuldade na escolha para aquisição do aparelho, frente as particularidades do local de instalação. Outros setores como o da agronomia e o alimentício, utilizam tradicionalmente a secagem térmica para o processamento de grãos e alimentos, de forma que ao longo do tempo foram documentados métodos para a seleção destes equipamentos. Porém, não é verificado um método de seleção que contemple as particularidades do setor de saneamento, tendo em vista o tratamento do lodo de esgoto. Nesse contexto, o presente trabalho reuniu e analisou diferentes métodos para a seleção de secadores térmicos existentes na literatura, de forma a identificar aspectos de interesse e aplicá-los conforme o objeto de estudo. A partir deste levantamento, desenvolveu-se um método específico para o material, que consiste em um instrumento de análise da adequação de um secador térmico em relação as características de uma estação de tratamento de esgoto doméstico (ETE). Para a aplicação do método, os dados definidos no escopo de análise foram levantados por meio da caracterização de uma ETE e um levantamento de mercado. A análise resultou no apontamento da adequação do modelo estudado, uma vez que o mesmo pode atender a todos os critérios estabelecidos no método proposto.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de esgoto, Tratamento de lodo, Secagem térmica, Secadores de lodo, Método de Seleção, Seleção de secadores.

INTRODUÇÃO

O tratamento de esgoto possui como aspecto ambiental, a geração de um subproduto denominado lodo de esgoto, que necessita ter a sua destinação final ambientalmente adequada. Atualmente, verifica-se que a prática mais comum no Brasil é o envio desse material para aterros sanitários, envolvendo custos para transportar o volume produzido, assim como os custos de aterramento. Existem, porém, diversas técnicas de reaproveitamento desse resíduo, como por exemplo, a sua incorporação como fertilizante na agricultura e na recuperação de áreas degradadas, além de aproveitamento energético, utilização como agregado, produção de cerâmicos, entre outros.

Tendo em vista a composição do lodo de esgoto, que possui aspectos negativos como a presença de patógenos, metais pesados, bactérias, vírus e um alto teor de umidade, que resulta em um grande volume a ser manejado, faz-se necessária a aplicação de um tratamento prévio, para que os processos de reaproveitamento sejam

econômica e tecnicamente viáveis. Para a realização do tratamento necessário, existem diferentes processos que podem ser aplicados, dentre os quais se destaca a secagem térmica, que realiza a remoção da umidade, por meio da elevação de sua temperatura, resultando na redução do volume do lodo, ao mesmo tempo em que se promove a sua higienização.

Esse processo é realizado por equipamentos denominados secadores térmicos, dentre os quais é verificada uma ampla variedade de modelos disponíveis no mercado, resultando em uma dificuldade na escolha para aquisição do equipamento. Devido à utilização consolidada desses equipamentos em outras atividades, como a secagem de grãos e de alimentos, desenvolveram-se ao longo do tempo, métodos para a seleção de secadores para esses setores. Já no setor de saneamento, em função do tratamento e disposição final do lodo ser uma temática recente, ainda não é verificado um método para a seleção desses equipamentos que leve em consideração as particularidades do setor, assim como do material a ser processado.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é propor um método para a seleção de secadores térmicos de lodo oriundo de estações de tratamento de esgoto doméstico (ETE), e realizar a aplicação do método desenvolvido para avaliar a pertinência da aplicação de um secador granular rotativo em uma ETE de grande porte localizada no estado do Paraná.

METODOLOGIA

O desenvolvimento do presente trabalho foi composto por quatro etapas principais, conforme o sequenciamento apresentado na Figura 1 e descrito em detalhes na sequência.



Figura 1: Etapas da Metodologia

Primeiramente, realizou-se um levantamento bibliográfico dos métodos existentes para a seleção de secadores térmicos. Isso foi realizado para identificar e compreender os critérios de análise propostos para a seleção desses equipamentos em diferentes setores, assim como para possibilitar a estruturação de um processo de escolha adaptado ao contexto das ETES. Para tanto, esse levantamento teve como base a literatura referente ao saneamento, assim como a literatura referente à utilização de secadores térmicos em outros setores, como o agrícola e o da indústria alimentícia.

A partir do levantamento realizado, estruturou-se um escopo de características a serem analisadas para realizar a avaliação de modelos e verificar sua adequação frente à situação encontrada em uma ETE. A relação de informações para a aplicação do método se divide em duas categorias, sendo a primeira referente às características operacionais do secador proposto, e a segunda referente à ETE na qual se deseja instalá-lo.

Da mesma forma, a estruturação do processo de análise de dados, teve sua sistematização concebida com base nas estruturas de processamento propostas pelos autores estudados, constituindo um sistema no qual deverão ser inseridos os dados de entrada relacionados no escopo, de maneira a avaliar um equipamento a partir dos critérios estabelecidos, constatando ao final da análise, a sua adequação.

A partir da definição do escopo de informações a serem analisadas, realizou-se o levantamento dos dados necessários para a aplicação do método proposto. Esse levantamento foi realizado junto a fornecedores desses equipamentos, assim como da administração de uma ETE, por meio de visita técnica, consulta telefônica, informações disponíveis em catálogos e nos sítios eletrônicos das empresas.

Por fim, o método foi utilizado para avaliar a pertinência da aplicação de um secador granular rotativo de lodos em uma ETE de grande porte, dotada de reatores do tipo UASB e localizada no estado do Paraná, de forma a processar os dados levantados a partir do escopo definido, dentro da estrutura de análise proposta em formato de fluxograma.

PRIMEIRA ETAPA: ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA

O levantamento bibliográfico foi realizado por meio de uma pesquisa do tipo qualitativa exploratória, durante a qual foi realizada a busca e a análise de métodos existentes na literatura, para a seleção de secadores térmicos. Esse levantamento teve como base a literatura referente ao setor de saneamento, assim como a outros setores, principalmente no da agricultura, envolvendo a secagem térmica de grãos, e na indústria alimentícia, envolvendo secagem de alimentos.

Na literatura referente ao saneamento ambiental, o levantamento foi realizado com o intuito de compreender as particularidades do setor, juntamente com as ponderações consideradas na tratativa sobre o processo de secagem térmica do lodo de esgoto. Nos materiais referentes aos demais setores, identificou-se uma diversidade de métodos de seleção, assim como de dimensionamento e classificação dos equipamentos. Referente a essas análises, diagnosticaram-se algumas propostas em diferentes modelos de processamento de informações, com uma variedade de critérios de seleção envolvidos.

Durante o levantamento, observou-se dentro dos métodos estudados aspectos de interesse que possuem relevância dentro do contexto do setor de saneamento, no que se refere aos critérios de análise propostos para avaliação desses equipamentos, assim como nas características de estruturação do processo de escolha empregado pelos autores.

Dessa forma, selecionaram-se aspectos relevantes dentro do contexto da secagem de lodo, para o desenvolvimento de um novo método. Assim, relacionaram-se os principais aspectos considerados como importantes por cada autor para a correta seleção e dimensionamento de secadores térmicos, assim como as estruturas de análise propostas para o processamento dos dados levantados. Essas constatações foram apresentadas em formato de tabela, relacionando as características verificadas em cada um dos métodos analisados.

RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Ao comentar a secagem térmica do lodo de esgoto, David (2002) pondera que a escolha do modelo mais apropriado requer estudo técnico e econômico cuidadoso, levando-se em consideração uma série de fatores, tais como:

- Quantidade e teor de sólidos do lodo produzido na ETE;
- Disponibilidade de fontes de energia (biogás, gás natural, fontes alternativas);
- Disposição final ou utilização posterior do lodo seco;
- Tipo de utilização do lodo;
- Atendimento às exigências legais;
- Custos operacionais e de implantação do sistema.

Bark (1995) observa que ao se tratar da secagem de alimentos, considera como fundamentais para a seleção de secadores, os seguintes critérios:

- Habilidade em manusear o material conforme a taxa de recebimento e entrega requeridos, com a qualidade especificada;
- Facilidade de operações higiênicas sem a contaminação;
- Fluxo máximo/fluxo mínimo;
- Operação segura (sem fogo/risco de explosão, toxicologicamente seguro);
- Facilidade de controle;
- Consumo energético;
- Baixo custo, pequeno espaço requerido;
- Capacidade de multi-processamento.

A temática sob a qual os métodos encontrados foram desenvolvidos envolve principalmente a secagem de grãos e alimentos. Dessa forma, certos aspectos dos métodos foram elaborados tendo em vista as particularidades dessas atividades e, portanto, na tratativa de um material como o lodo de esgoto, não possuem a mesma relevância. Da mesma maneira, uma vez que o princípio da secagem térmica é o mesmo,

independente do material, princípios de seleção e critérios de escolha e adequação de equipamentos, certamente são adaptáveis ou até mesmo diretamente aplicáveis na tratativa do lodo de esgoto.

Os métodos estudados apresentam diferentes critérios para a escolha, classificação e o correto dimensionamento de secadores frente a uma situação conhecida. São verificadas maneiras distintas de analisar os dados considerados nos processos desenvolvidos.

O Quadro 1 apresenta uma relação com as principais características de cada um dos métodos estudados.

Quadro 1 - Comparação dos métodos de seleção

Autores do método	Principais aspectos analisados pelos autores	Estrutura proposta
LAPPLE, CLARK e DYBDAL (1955)	Balanco de massa e calor, fluxo evaporativo, sensibilidade do material, tipo de umidade associada, características gerais do material, e fontes de energia.	Elaboração de perguntas para a obtenção de respostas importantes para julgar a adequação de um equipamento
VAN'T LAND (1991)	Divisão entre: 1) Informações gerais do local de instalação (produção, umidade, dimensões da partícula, sensibilidade do material, risco de explosão, propriedades toxicológicas, contaminação do produto, corrosão, experiência empírica). 2) Critérios a serem atendidos pelo produto seco: umidade, dimensões, densidade, rigidez, presença de pó, fluxo, dispersão.	Elaboração de lista de informações a serem levantadas e de critérios a serem atendidos. Seleção do tipo do secador baseado no tamanho da partícula do material a ser processado, apresentado na forma de fluxograma. Análise diferenciada para operação em modo contínuo e em batelada.
NONHEBEL e MOSS (1971)	Divisão dos secadores por tipo, conforme modo de operação e porte do empreendimento; Critérios de escolha baseados em quantidades produzidas, propriedades físicas e químicas da matéria prima para a geração de energia, propriedades do produto seco, dados de secagem disponíveis, perdas no processo e local de operação.	Classificação dos tipos de equipamento aptos a trabalhar conforme a faixa de produção do material e o modo de operação empregado. Elaboração de critérios a serem atendidos para a boa operação de um equipamento dimensionado.
KEMP e BAHU (1995)	Classificação de diferentes tipos de secadores baseada no modo de alimentação, modo de operação e modo de aquecimento. Verificação da adequação quanto a taxa de produção, umidade de entrada e saída do produto, impurezas verificadas, dimensões da partícula e itens de processamento anteriores e posteriores ao equipamento.	Algoritmo de busca proposto em cinco etapas, com entrada de dados, pré-seleção, e eliminação ao longo do processo conforme regras de pontuação pré-estabelecidas. Ao final do processo, as opções restantes são comparadas economicamente para decidir a melhor opção.

SEGUNDA ETAPA: CONSTRUÇÃO DO MÉTODO DE SELEÇÃO

A exemplo dos métodos dos autores estudados, elaborou-se uma lista de informações a serem levantadas anteriormente à seleção de equipamentos. Certos aspectos da lista seguem recomendações propostas por Nonhebel e Moss (1971), Baker (1995), David (2002), Park (2007) e Lobato (2011), em suas colocações referentes a dados importantes a se levantar para realizar a seleção desse tipo de equipamento. Essas informações são, da mesma maneira em que nos métodos de Van't Land (1991), Nonhebel e Moss (1971), sumarizadas em um fluxograma, que determina os passos a serem seguidos para que as informações reunidas sejam processadas, apontando os resultados esperados.

O sequenciamento do fluxograma proposto adapta características da estrutura de análise proposta com Kemp e Bahu (1995), que apresenta uma série de cinco passos. Na proposta desses autores, ao longo do processo, ocorre a entrada de dados a serem verificados, enquanto a cada uma das etapas, regras pré-estabelecidas atribuem notas aos equipamentos, classificando-os conforme a sua adequação, dividindo-os entre bom,

questionável e inadequado, de forma que ao final da análise possa ser identificado o equipamento com maior pontuação como o mais adequado.

Essa estrutura de análise foi adaptada de forma que cada passo compõe uma etapa do fluxograma. As regras estabelecidas para a atribuição de notas são apresentadas diretamente dentro das etapas na forma de questionamentos, que compõe uma sequência de indagações quanto à adequação dos equipamentos em relação às características verificadas no local de instalação.

RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

O Quadro 2 apresenta o escopo de informações a serem levantadas, possibilitando a aplicação do método proposto. Esse escopo é dividido em duas seções, uma referente aos dados a serem levantados sobre a ETE na qual se deseja instalar o secador, enquanto a outra se refere aos dados do equipamento que se deseja avaliar.

Quadro 2: Relação de dados de entrada para o método proposto

DADOS DA ETE	DADOS DO SECADOR
a) Taxa de geração do lodo;	a.2) Tipo de secador;
b) Número de funcionários disponíveis para operação	b.2) Automação do processo;
c) Fonte energética a ser utilizada;	c.2) Fontes energéticas aceitas pelo equipamento;
d) Fonte energética secundária	d.2) Temperatura alcançada pela câmara de secagem;
e) Limite de temperatura aceito pelo material;	e.2) Material de construção da câmara de secagem;
f) Propriedades corrosivas	f.2) Capacidade de processamento de lodo;
g) Teor de sólidos que o lodo apresenta;	g.2) Teor de sólidos mínimo de entrada;
h) Teor de sólidos desejado;	h.2) Teor de sólidos alcançado pelo equipamento;
i) Abrasividade	i.2) Temperatura do material seco;
j) Destinação final pretendida para o material seco;	j.2) Recirculação do material;
k) Área disponível para a implantação;	k.2) Características do material obtido (tamanho das partículas e higienização);
l) Áreas secundárias disponíveis	l.2) Área ocupada pelo sistema;
m) Zoneamento da área de instalação	m.2) Nível de ruído gerado pelo equipamento;
n) Zoneamento da população mais próxima	n.2) Geração de emissões atmosféricas, finos e poeira;
o) Proximidade da área disponível com a população;	o.2) Temperatura atingida pela queima de combustível;
p) Verba disponível;	p.2) Custo energético operacional (elétrico);
q) Custo atual para a destinação final	q.2) Custo energético operacional (térmico);
	r.2) Necessidade de manutenção;
	s.2) Custo para adquirir o equipamento;
	t.2) Capacidade evaporativa;
	v.2) Acessibilidade à manutenção no país;
	w.2) Operadores necessários;

Com relação ao processamento das informações, cada questionamento apresentado no fluxograma é referente a um critério de análise, cada critério apontando um resultado isolado, permitindo obter como resultado as vantagens e desvantagens de cada modelo frente a cada parâmetro. Contudo, a sequência apontada para os passos deverá ser respeitada, uma vez que o fluxograma poderá apontar a necessidade de readequação ou reavaliação de certos aspectos do equipamento, que influenciarão os passos seguintes.

A atribuição de notas pelo método se limitará a duas categorias, de forma que a resposta obtida a cada passo será apontada como adequada ou inadequada à realidade da ETE, conforme as características do equipamento.

PRIMEIRA E SEGUNDA ETAPA: Classificação do regime de operação e pré-seleção

A primeira etapa é referente a classificação do modo de operação adequado para a taxa de produção de lodo que a estação apresenta, na qual é seguida a determinação conforme as faixas de produção de lodo em kg/h. A partir da definição do modo de operação, inicia-se a segunda etapa, que consiste em uma pré-seleção dos secadores disponíveis, baseada nos tipos de secadores recomendados pela literatura, conforme relação de modelos classificados por Nonhebel e Moss (1971). Isso possibilita a identificação dos tipos de equipamentos verificados, bem como se tais secadores estão aptos ao porte do empreendimento e ao regime de operação praticado.

A terceira etapa realiza a integração dos dados levantados sobre estação e sobre o equipamento, no intuito de verificar quais dos equipamentos são mais adequados à situação da ETE, a partir dos critérios estabelecidos.

TERCEIRA ETAPA: Cruzamento de dados da ETE com dados do secador

1º PASSO DA TERCEIRA ETAPA

O 1º passo será referente à laboriosidade da operação do equipamento, verificando se o número de funcionários disponíveis atualmente é suficiente para a operação do equipamento, tendo em vista que certos processos são autônomos, apenas com a necessidade de supervisão, enquanto secadores para o modo em batelada, normalmente necessitam de mais pessoal envolvido em sua operação.

2º PASSO DA TERCEIRA ETAPA

O 2º passo dessa etapa se refere à fonte energética utilizada para a geração de calor e a interação da câmara de secagem com o material. Primeiramente, é necessário verificar se o equipamento em análise aceita a fonte energética planejada. Caso o contrário, é necessário verificar se há outra fonte disponível e se tal fonte seria aceita pelo equipamento. Se a nova fonte também não for aceita, o equipamento é considerado inadequado para operar nas condições atuais da estação. Da mesma maneira, caso a escolha de uma nova fonte não seja possível, o equipamento é considerado como inadequado.

A partir da definição da fonte energética, deve ser analisado se a temperatura alcançada dentro da câmara de secagem está compreendida dentro do limite suportado pelo lodo sem que sofra algum tipo de dano por degradação ou correr o risco de entrar em autoignição, considerando aqui como 114 °C.

Caso a temperatura seja superior ao limite suportado, o equipamento é considerado inadequado para processar o material utilizando a fonte energética estabelecida. Caso atenda aos limites do material, então é analisado se o material de construção da câmara de secagem suporta a corrosividade que o lodo processado apresenta. A câmara cujo material suportar a corrosividade verificada é considerada como adequada, enquanto a que não suportar é considerado inadequado, tendo em vista que poderia originar complicações operacionais.

3º PASSO DA TERCEIRA ETAPA

O 3º passo, consiste no questionamento referente à capacidade de processamento do material que o equipamento possui, verificando se o equipamento está apto a realizar a secagem do lodo dentro da taxa de produção de material úmido verificada. Caso a resposta seja negativa, considera-se o equipamento como inadequado frente a esse aspecto.

4º PASSO DA TERCEIRA ETAPA

O quarto passo apresenta questionamentos referentes ao poder de secagem que o equipamento possui, sendo verificado, primeiramente, se o teor de sólidos presente no material úmido corresponde ao mínimo requerido para que o equipamento realize o processo de secagem. Caso a umidade presente no material esteja acima do mínimo permitido, seria necessário que a etapa de desaguamento praticada atualmente passasse por uma readequação, ou que um processo complementar fosse instalado previamente a utilização do equipamento, sendo assim, este é considerado inadequado à situação atual da estação.

Caso o equipamento seja classificado como adequado, é então analisado o teor de sólidos alcançado, verificando se esse alcance corresponde ao teor desejado ao final do processo. Caso a resposta seja negativa, o equipamento é considerado inadequado. Caso alcance a expectativa, a próxima verificação é quanto à abrasividade do material seco.

Sendo verificado que o produto final não possui abrasividade, o equipamento passa para o próximo questionamento, porém, caso possua, deverá ser verificado se a operação do equipamento envolve a recirculação deste material. Caso o material abrasivo seja reinserido no processo, identifica-se risco de explosão, e por tanto o equipamento é considerado inadequado. Por tanto, o equipamento que não pratica a recirculação do material abrasivo, segue para o próximo critério.

Em seguida é questionada a forma que o material se apresenta ao final do processo, verificando que no caso do material se apresentar como pó, é considerado inadequado, pois verifica-se um risco de autoignição. A última análise deste passo consiste na verificação sobre as características do material obtido, frente a legislação que envolve a destinação final pretendida, sendo considerados adequados aqueles que a atendem e inadequados aqueles que não atendem. No caso da destinação ser o uso agrícola, estará sendo considerada a Resolução Conama nº 375/2006.

5º PASSO DA TERCEIRA ETAPA

O quinto e último passo desta etapa diz respeito às condições de instalação do equipamento, na área disponível para a instalação do mesmo, sendo verificada através de quatro aspectos. Primeiramente, é necessário verificar se o equipamento em análise acomoda-se dentro do espaço físico disponível. Os questionamentos seguintes se referem à conformidade legal da instalação do equipamento em questão, levando em consideração sua proximidade com a população. Os aspectos analisados por esses questionamentos são referentes à permissibilidade da geração de ruídos conforme o zoneamento da área de instalação, das emissões atmosféricas e da temperatura verificada na fonte de geração de calor.

Para a verificação referente aos ruídos, consideraram-se os limites estabelecidos pelo zoneamento, conforme a Lei Ordinária nº 10625 do Município de Curitiba, enquanto para as emissões, o atendimento aos critérios das Resoluções SEMA nº 54/06 e 16/14.

No caso da geração de calor, caso seja verificado que a fonte energética é um resíduo sólido, será analisada a temperatura alcançada na queima de combustível, no intuito de verificar o enquadramento do processo, uma vez que temperaturas acima de 800 °C são enquadradas atualmente como incineração, e não poderão ser praticadas a menos de 1.000 m de residências ou estabelecimentos públicos. Dessa forma, estará sendo considerada a Resolução SEMA nº43/08.

Caso no decorrer das verificações, um destes aspectos aponte uma não conformidade, este passo deverá ser realizado novamente, analisado o equipamento em uma nova área da estação, e caso a escolha de uma nova área não seja possível, o mesmo será considerado como inadequado para ser instalado e operado nesta ETE.

QUARTA ETAPA: Análise Econômica

Ao final da terceira etapa, a relação de equipamentos terá sido analisada quanto a sua adequação para operar dentro do contexto da ETE analisada. Dessa forma, cada equipamento demonstrará conformidades e inconformidades quanto aos critérios estabelecidos. Esses critérios possuem atendimento obrigatório para que o equipamento funcione corretamente dentro da estação, por tanto, deverá ser selecionado aquele equipamento que os atenda em sua totalidade.

Poderá eventualmente ocorrer que mais de um único equipamento atenda a todos os critérios da terceira etapa. Neste caso, estes deverão passar para a quarta etapa, para que sejam comparados quanto aos aspectos econômicos de sua operação.

A quarta etapa é a última do método proposto e serve como instrumento final para a tomada de decisão sobre os equipamentos analisados, baseando-se nos custos envolvidos e apresentando uma estimativa do tempo de retorno dos investimentos aplicados.

Ressalta-se que a quarta etapa, não será apresentada na aplicação do método proposta neste trabalho. Para se realizar uma análise econômica representativa, é necessário um estudo minucioso da cadeia produtiva e do fluxo de caixa gerado pelas situações anterior e posterior a instalação do processo de secagem, sendo que esta análise não compõe o escopo de proposto por esta pesquisa. A realização desta análise envolve ainda dados que não foram possíveis levantar junto aos fornecedores, como por exemplo, o custo final de aquisição, não divulgado pelas empresas por uma questão de sigilo e segurança à competitividade no mercado. Desta maneira, no presente documento será apenas indicada a recomendação da análise necessária para a tomada de decisões baseada no aspecto financeiro.

Para a realização do cálculo financeiro, a ferramenta indicada é o *Payback*. Primeiramente, é necessário definir uma estimativa de todos os custos de operação que o equipamento possui em um período determinado, através do custo energético por hora. Na sequência, calcular os ganhos financeiros gerados pela instalação do processo, para a administração da ETE neste mesmo período. Comparando estes dados, obtém-se a economia gerada periodicamente a partir da instalação de cada equipamento. Obtendo os dados calculados, é realizada uma estimativa do tempo de retorno dos investimentos, de maneira a analisar o custo de aquisição frente a economia gerada periodicamente pela instalação do processo de secagem térmica.

Sendo que os equipamentos comparados nesta etapa atendem a todos os requisitos de operação, o equipamento que possui o menor tempo de retorno do investimento deverá ser considerado mais adequado à estação.

A Figura 2 apresenta o fluxograma proposto pelo método desenvolvido, para a visualização e acompanhamento das etapas de análise.

- 1ª Etapa: Classificação do Regime
- 2ª Etapa: Pré-seleção (tipos recomendados pela literatura)
- 3ª Etapa: Características do equipamento X Características da estação
- 4ª Etapa: Análise econômica

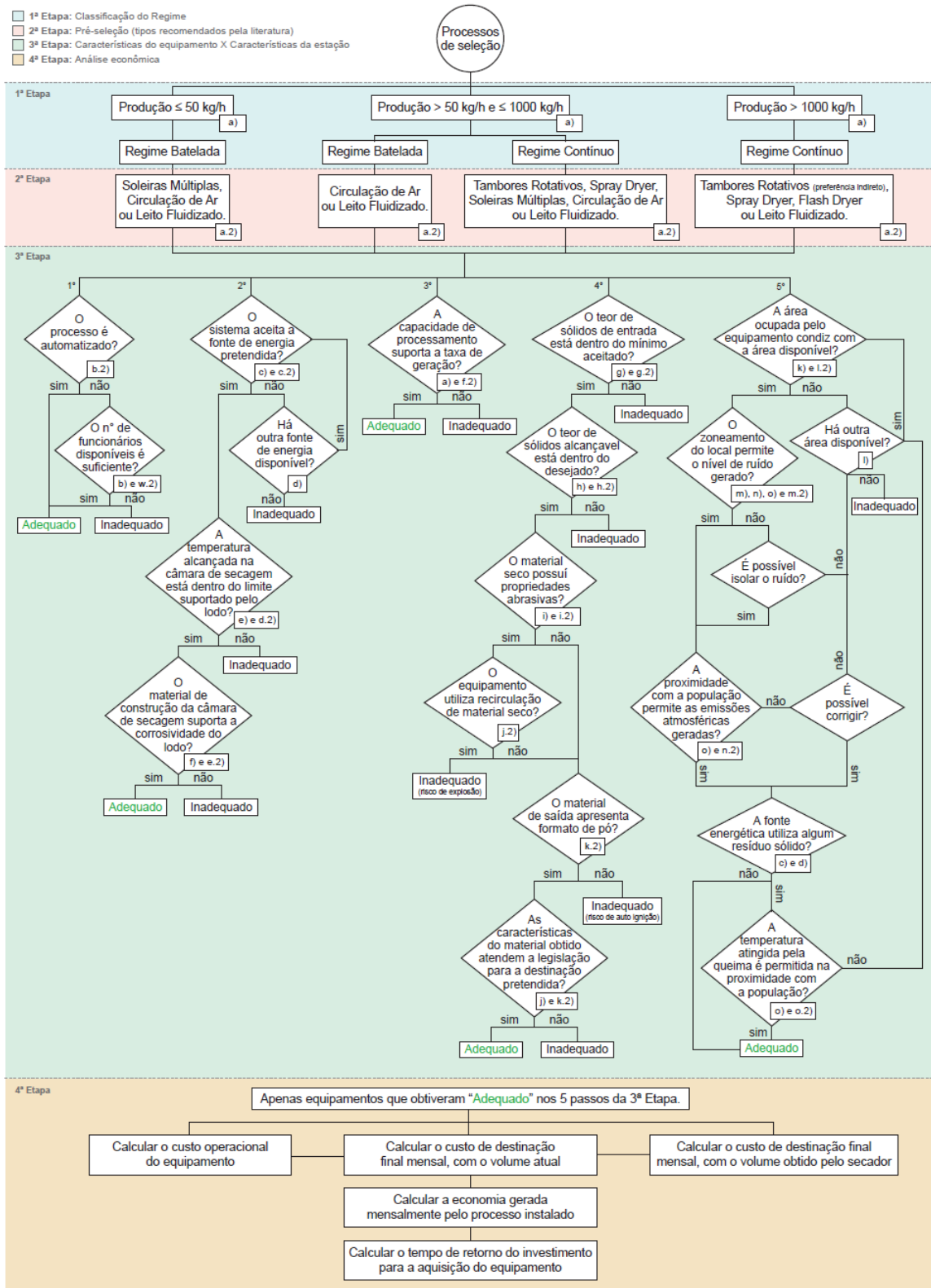


Figura 2: Fluxograma de seleção do método.

TERCEIRA ETAPA: LEVANTAMENTO DE DADOS

A partir da definição do escopo de informações a serem levantadas, uma consulta de mercado foi realizada, buscando reunir as informações necessárias quanto ao tipo de equipamento analisado nesta pesquisa, sendo este do tipo secador granular rotativo de secagem indireta.

Durante a pesquisa junto ao fornecedor para obter características técnicas de equipamentos, alguns dados do local teórico de instalação foram ressaltados pela empresa consultada como importantes para que se pudesse compatibilizar o equipamento proposto, com as características da estação aonde o equipamento deveria operar.

Nota-se um alinhamento entre os critérios estabelecidos, com as informações ressaltadas durante a consulta de mercado. As informações solicitadas pelas empresas para possibilitar formulação das propostas foram referentes ao tipo do lodo gerado conforme a tecnologia de tratamento, a fonte energética para a geração de calor, o volume de lodo gerado pela estação, a localização da ETE e a umidade do material que seria recebido pelo secador, assim como a umidade desejada ao final do processo.

Verificou-se nesta etapa, certa dificuldade na obtenção das informações em sua totalidade, sendo que alguns itens identificados como importantes para a realização das análises, não foram repassados pelas empresas consultadas, pois a proposta se trata de um levantamento apenas teórico, sem o interesse real na aquisição do equipamento. Certos aspectos, como o preço final para aquisição do produto, foram citados recorrentemente como sigilosos, de forma que sua divulgação poderia vir a prejudicar a empresa frente as organizações concorrentes.

RESULTADOS DA TERCEIRA ETAPA

O Quadro 3 apresenta a relação de dados levantados junto a administração da ETE analisado, enquanto o Quadro 4 apresenta os dados levantados junto ao fornecedor do equipamento proposto.

A sequência das informações segue a mesma ordem e itemização apresentada no Quadro 2, que demonstra o escopo de informações proposto para a aplicação do método.

Quadro 3: Dados da ETE para a aplicação do método

DADOS ETE	
a) Taxa de geração do lodo;	5,0 m ³ /h
b) Número de funcionários disponíveis para operação	01 por turno
c) Fonte energética a ser utilizada;	Biogás
e) Limite de temperatura aceito pelo material;	114 °C
g) Teor de sólidos que o lodo apresenta;	18-20% ST
h) Teor de sólidos desejado;	80-85% ST
j) Destinação final pretendida para o material seco;	Aplicação na agricultura
k) Área disponível para a implantação;	350,00 m ²
l) Áreas secundárias disponíveis	2,15 km ²
m) Zoneamento da área de instalação	33,22 m
m) Zoneamento da área de instalação	SUE
m) Zoneamento da área de instalação (Área secundaria)	50,32 m
n) Zoneamento da população mais próxima	ST
q) Custo atual para a destinação final	250 R\$/Ton

Quadro 4 Dados do secador para a aplicação do método

DADOS DO SECADOR

a.2) Tipo de secador;	Tambores rotativos - secagem indireta
b.2) Automação do processo;	Não
c.2) Fontes energéticas aceitas pelo equipamento;	Biogás/gás natural/ incineração de lodo seco
d.2) Temperatura alcançada pela câmara de secagem;	160-200 ° C
e.2) Material de construção da câmara de secagem;	<i>Não informado</i>
f.2) Capacidade de processamento de lodo;	5500 kg/h
g.2) Teor de sólidos mínimo de entrada;	20%
h.2) Teor de sólidos alcançado pelo equipamento;	85%
i.2) Temperatura do material seco;	<i>Não informado</i>
j.2) Recirculação do material;	Não
k.2) Características do material obtido (tamanho das partículas e higienização);	Granulado 1 a 6 mm. Auto-inertizado
l.2) Área ocupada pelo sistema;	78x32m
m.2) Nível de ruído gerado pelo equipamento;	< 75 dBA (1m)
n.2) Geração de emissões atmosféricas, finos e poeira;	Nula
o.2) Temperatura atingida pela queima de combustível;	<i>Não informado</i>
p.2) Custo energético operacional (elétrico);	336,5 kWh/h
q.2) Custo energético operacional (térmico);	3.100 kW
r.2) Necessidade de manutenção;	Baixa
s.2) Custo para adquirir o equipamento;	<i>Não informado</i>
t.2) Capacidade evaporativa;	4206 kg/h
v.2) Acessibilidade à manutenção no país;	Sim
w.2) Operadores necessários;	1,00

QUARTA ETAPA: APLICAÇÃO DO MÉTODO DESENVOLVIDO

Com os dados obtidos junto ao fornecedor e os dados repassados pela administração da ETE, tornou-se possível à utilização da ferramenta desenvolvida para a seleção dos equipamentos.

Ao seguir as etapas e passos presentes no fluxograma proposto, o método pôde classificar os equipamentos conforme os critérios de análise estabelecidos, por meio da análise dos dados, demonstrando os parâmetros sob os quais o modelo possui adequações e inadequações, ou necessidade de readequação.

O resultado da análise realizada pelo método proposto, é a classificação do secador analisado como adequado ou inadequado frente a cada critério, de forma que esta relação é apresentada em formato de um quadro para melhor visualização.

RESULTADOS DA QUARTA ETAPA

A partir do processamento dos dados presentes nos Quadros 3 e 4, por meio do sequenciamento proposto conforme apresentado na Figura 2, os resultados obtidos apontam para a adequação do secador analisado, em todas as etapas realizadas, conforme demonstrado no Quadro 5.

A primeira etapa demonstrou que conforme a taxa de geração de lodo da ETE, o regime de operação mais adequado para o equipamento seria o contínuo. Sendo assim, na segunda etapa verificou-se que, a partir da relação dos tipos de modelo recomendados para este regime, o modelo é adequado para a atividade.

A terceira etapa, que realiza o cruzamento dos dados da ETE com os dados do secador demonstrou em seu primeiro passo que a laboriosidade exigida pela operação do equipamento é suportada pelo efetivo disponível da estação. O segundo passo demonstrou que a fonte de energia pretendida é suportada pelo equipamento, sendo que opera com esta de maneira a não danificar o material. No terceiro passo pode-se verificar que capacidade de processamento de material úmido suporta a taxa de geração verificada na ETE.

No quarto passo da terceira etapa constatou-se que a umidade presente no material está dentro do mínimo exigido para a realização da secagem pelo equipamento, podendo alcançar a expectativa do teor de sólidos desejado no material seco, satisfazendo as características necessárias para a prática da destinação final desejada, assim como a segurança laboral de seu manejo.

Já no quinto passo da terceira etapa foi possível verificar que a área disponível para a instalação do equipamento é adequada para sua operação, levando em conta o espaço físico, a geração de ruídos, assim como as emissões atmosféricas geradas.

O Quadro 5 demonstra de forma resumida a relação dos resultados alcançados em cada parte do processo de análise empregado.

Quadro 5: Resultados da análise

Análise	Resultado
Primeira etapa	Produção > 1.000 Ton/h
Segunda etapa	Teoricamente adequado
Terceira etapa – 1º passo	Adequado
Terceira etapa – 2º passo	Adequado
Terceira etapa – 3º passo	Adequado
Terceira etapa – 4º passo	Adequado
Terceira etapa – 5º passo	Adequado
Quarta etapa	-

Ressalta-se que a quarta etapa, não é parte integrante deste trabalho. Dessa maneira, no presente documento é apenas indicada a recomendação da análise necessária para a tomada de decisões baseada no aspecto financeiro.

CONCLUSÕES

O presente trabalho reuniu e analisou diferentes métodos para a seleção de secadores térmicos existentes na literatura, de forma a identificar aspectos de interesse e aplicá-los ou adaptá-los ao contexto de ETEs. A partir desse levantamento, desenvolveu-se um método, levando em consideração as colocações, critérios e estruturas de análise estudadas, resultando em uma lista de informações a serem levantadas referentes ao local de implantação do processo de secagem térmica e o equipamento utilizado para realizá-lo, assim como a estruturação da análise no formato de um fluxograma dividido em 4 etapas: Classificação do regime de operação, Pré-Seleção, Cruzamento dos dados da ETE com os dados do secador, e Análise Econômica.

A partir da definição do escopo de características para a análise, uma ETE e um secador térmico foram caracterizados conforme o escopo de informações definido. Ao final do processo de análise empregado, constatou-se que, dentro da possibilidade dos dados obtidos, o equipamento avaliado foi classificado como adequado a operar na ETE sob investigação.

Recomenda-se que em trabalhos futuros, visando aprimoramento do método proposto, sejam reunidas as informações necessárias para o cálculo de viabilidade econômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAKER, C. G. J. Industrial drying of foods. Chapman & Hall. Springer US, p. 309, 1997.
2. DAVID, A. C. Secagem térmica de lodos de esgoto: determinação da umidade de equilíbrio. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, USP, São Paulo, p. 163, 2002.
3. KEMP, I. C. ; BAHU, R. E. A new algorithm for dryer selection. *Drying Technology*. New York: Marcel Dekker Inc., n. 13 (5-7), p.1563 - 1578, 1995.
4. LAPPLE, W. C.; CLARK, W. E.; DYBDAL, E. C. Drying: design & costs. *Chemical Engineering*. [S.l.:s.n.], p.177 - 200, 1955.
5. LOBATO, L. C. S. Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p. 184, 2011.
6. NONHEBELI, M. A.; MOSS, A. A. H. Drying of solids in the chemical industry. London: Butterworth & Co., p. 301, 1971.
7. VAN'T LAND, C. M. Industrial drying equipment: Selection and application. New York: Marcel Dekker, p. 362, 1991.