UNIVERSIDADE DE UBERABA

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E EXTENSÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA
MESTRADO PROFISSIONAL

MARTINALIA COSTA JERÔNIMO

SECAGEM E TRATAMENTO DE LODO DE ABATEDOURO AVÍCOLA PELAS MICRO-ONDAS PARA OBTENÇÃO DE CONDICIONADOR DE SOLO

UBERABA-MG
2019

MARTINALIA COSTA JERÔNIMO

SECAGEM E TRATAMENTO DE LODO DE ABATEDOURO AVÍCOLA PELAS MICRO-ONDAS PARA OBTENÇÃO DE CONDICIONADOR DE SOLO

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Química do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - Mestrado Profissional da Universidade de Uberaba (PPGEQ-MP/UNIUBE).

Orientadora:
Profª. Dra. Elizabeth Uber Bucek

Coorientador:
Prof. Dr. José Roberto Delalibera Finzer

UBERABA-MG
2019

Catalogação elaborada pelo Setor de Referência da Biblioteca Central UNIUBE

Jerônimo, Martinália Costa.
J483s Secagem e tratamento de lodo de abatedouro avícola pelas micro-ondas para obtenção de condicionador de solo/ Martinália Costa Jerônimo. – Uberaba, 2019.
71 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade de Uberaba. Programa de Mestrado em Engenharia Química, concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos Agroindustriais.
Orientadora: Profa. Dra. Elizabeth Uber Bucek.
Coorientador: Prof. Dr. José Roberto Delalibera Finzer.

1. Lodo. 2. Lodo de esgoto. 3. Resíduos industriais. 4. Radiação. I. Bucek, Elizabeth Uber. II. Finzer, José Roberto Delalibera. III. Universidade de Uberaba. Programa de Mestrado em Engenharia Química. IV. Título.

CDD 628.2

MARTINÁLIA COSTA JERONIMO

SECAGEM E TRATAMENTO DE LODO DE ABATEDOURO AVÍCOLA PELAS MICRO-ONDAS PARA OBTENÇÃO DE CONDICIONADOR DE SOLO

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - Mestrado Profissional da Universidade de Uberaba (PPGEQ-MP/UNIUBE).

Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos Agroindustriais

Aprovado em: 30/10/2019

BANCA EXAMINADORA:

Prof(a). Dr(a). Elizabeth Uber Bucek - Orientadora
Universidade de Uberaba

Dr(a). Fernando Oliveira Franco
Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais

Prof(a). Dr(a). José Roberto Delalibera Finzer
Universidade de Uberaba

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por estar sempre ao meu lado proporcionando grandes conquistas e vitorias em minha caminhada.

Dedico também ao meu pai Carlos, minha mãe Neusa, minha irmã Nathália e meu noivo Leandro, que me apoiaram e incentivaram durante toda trajetória

Dedico este trabalho a professora Elizabeth Uber Bucek, pela paciência na orientação e incentivo durante todo trabalho, que desde a graduação nunca desistiu de mim, acreditou em minha capacidade e deu todo apoio necessário para que eu chegasse até aqui.

As minhas avós Maura e Marieta que estavam sempre com pensamentos positivos e orando todas as manhã por mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à Deus por me guiar sempre para os bons caminhos, iluminar e dar tranquilidade para seguir com meus objetivos.

Agradeço aos meus pais, nunca mediram esforços diante de meus estudos, que sempre acreditam no meu sucesso, e me apoiaram durante toda minha vida, agradeço minha irmã e meu noivo pela paciência em me aguardar nos meus piores momentos.

Em especial, agradeço ao Prof. Ricardo Naufel de Toledo por ser o mentor deste trabalho.

Agradeço em especial a Professora Elizabeth Uber Bucek, pela persistência, carinho e dedicação a mim e ao meu trabalho.

Agradeço ao colega Francisco de Assis da Silva Junior, pela contribuição no desenvolvimento da parte prática deste trabalho, que contribuiu para os resultados obtidos.

Agradeço a Empresa ONDATEC®-Tecnologia Industrial em Micro-ondas (Uberaba-MG), ao sócio fundador e diretor técnico da empresa, Prof. Ricardo Naufel de Toledo, e ao engenheiro de automação e controle da empresa Prof. Lélio Alves Vieira, pela disponibilização da tecnologia e estrutura da empresa no desenvolvimento da secagem e processamento do lodo em Forno Micro-ondas de Cavidade Rotativa - Tecnologia ONDATEC .

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação Engenharia Química – Mestrado Profissional da UNIUBE, pela oportunidade e por ter sido o responsável direto no desenvolvimento desta dissertação.

Por fim, agradeço à UNIUBE - Universidade de Uberaba, à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais - FAPEMIG, à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo suporte dado ao desenvolvimento dessa dissertação.

A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo".

(Albert Einstein).

RESUMO

O elevado volume de lodo orgânico (biossólidos) gerado em lagoas de decantação a partir de efluentes de abatedouro avícola, apresenta elevada capacidade poluidora ao meio ambiente, sendo considerado um problema para a indústria, que é responsável pela destinação final deste resíduo, de acordo com a legislação vigente. Seu uso como componente na produção de adubo ou fertilizante orgânico tem que atender as normas quanto ao teor de metais pesados e carga microbiana. Dentre os tratamentos térmicos utilizados, destaca-se os fornos de micro-ondas, que convertem energia elétrica em micro-ondas, onde o aquecimento ocorre pela dissipação da energia eletromagnética. O objetivo deste trabalho é secar e tratar em forno de micro-ondas com cavidade rotativa, em escala piloto, o lodo orgânico obtido da lagoa de decantação, gerado a partir de efluentes de abatedouro avícola e avaliar a capacidade do processo na inativação microbiana deste resíduo. Foi determinado a umidade do lodo por gravimetria, seguido de tratamento prévio a céu aberto para eliminação do excesso de umidade e homogeneização dos lotes provenientes do abatedouro avícola. Foram avaliadas as características do lodo orgânico antes e após tratamento pelas micro-ondas em escala piloto, de cavidade rotativa (tecnologia ONDATEC), tais como: umidade; metais pesados; nutrientes, fertilizantes; pH; propriedades termofísicas; densidade; curva de secagem; calculo da radiação e determinação da carga microbiana avaliada pela leitura da absorção em espectrofotômetro. Os 10 lotes de lodo fornecidos pelo abatedouro avícola apresentaram diferenças quanto a: consistência, umidade, cor e presença de impurezas. A secagem pelas micro-ondas do lodo provenientes do abatedouro não foi viável, exigindo de 8 a 10 horas de irradiação devido ao alto teor de umidade (em torno de 82%) nele presente. Os lotes de lodo recebidos do abatedouro apresentaram variação de umidade e substâncias voláteis (USV) entre 77 a 92%. O tratamento prévio do lodo, além de permitir a homogeneidade dos lotes eliminou o excesso de USV para 62 %, tornando o processo de secagem em forno micro-ondas ONDATEC® viável. A secagem do lodo no processo proposto é eficiente, com redução de até 24 vezes a carga microbiana e redução do volume do lodo em 2/3, diminuindo a necessidade de espaço físico de estocagem. A eficiência do forno micro-ondas utilizado na secagem do lodo a 100ºC e no tratamento do lodo a 504ºC, foi em torno de 57%. O lodo submetido às micro-ondas apresenta características, que justifica o seu uso como condicionador de solo.

Palavras-chave: condicionador orgânico; inativação bacteriana; lodo de efluentes; radiação não ionizante.

ABSTRACT

The high volume of organic sludge (biosolids) generated in settling ponds from poultry slaughterhouse effluents, presents a high polluting capacity to the environment, being considered a problem for the industry, which is responsible for the final destination of this waste, according to current legislation. Its use as a component in the production of compost or organic fertilizer has to meet the standards regarding the content of heavy metals and microbial load. Among the heat treatments used, we highlight the microwave ovens, which convert electrical energy into microwaves, where heating occurs by the dissipation of electromagnetic energy. The objective of this work is to dry and treat in a microwave oven with a rotary cavity, on a pilot scale, the organic sludge obtained from the settling pond, generated from poultry slaughterhouse effluents and to evaluate the process capacity in the microbial inactivation of this residue. The moisture of the sludge was determined by gravimetry, followed by previous treatment in the open to eliminate excess moisture and homogenize the batches from the poultry slaughterhouse. The characteristics of organic sludge were evaluated before and after treatment by microwave on a pilot scale, with rotating cavity (ONDATEC technology), such as: humidity; heavy metals; nutrients, fertilizers; pH; thermophysical properties; density; drying curve; calculation of radiation and determination of microbial load assessed by reading the absorption in a spectrophotometer. The 10 sludge batches supplied by the poultry slaughterhouse showed differences as to: consistency, humidity, color and presence of impurities. Microwave drying of the sludge from the slaughterhouse was not feasible, requiring 8 to 10 hours of irradiation due to the high moisture content (around 82%) present in it. The sludge batches received from the slaughterhouse showed a variation in humidity and volatile substances (USV) between 77 to 92%. The previous treatment of the sludge, in addition to allowing homogeneity of the batches, eliminated the excess of USV to 62%, making the drying process in the ONDATEC® microwave oven viable. The drying of the sludge in the proposed process is efficient, with a reduction of up to 24 times the microbial load and a reduction of the sludge volume by 2/3, reducing the need for physical storage space. The efficiency of the microwave oven used to dry the sludge at 100ºC and to treat the sludge at 504ºC, was around 57%. The sludge submitted to microwaves has characteristics that justify its use as a soil conditioner.

Keywords: organic conditioner; bacterial inactivation; effluent sludge; non-ionizing radiation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma de funcionamento do abatedouro avícola 2

Figura 2: Fluxograma da geração do lodo a partir do efluente (lavagem final) 3

Figura 3: Lodo em "bags" depositado ao lado da lagoa de tratamento de esgoto, Campinas 8

Figura 4: Fluxograma dos prováveis destinos do lodo da lagoa de abatedouro avícola 11

Figura 5: Recebimento de lodo orgânico não tratado 26

Figura 6: Tratamento prévio do lodo orgânico não tratado: a céu a aberto (A); entre placas de metal (B)..... 27

Figura 7: Forno micro-ondas Ondatec®: estrutura do forno (A); cesto giratório (B)..... 28

Figura 8: Pontos de mostragem (lodo a "céu aberto") para análise após tratamento prévio do lodo..... 30

Figura 9: Obtenção de agua isenta de microrganismo pelo purificador osmose reversa GEHAKA®(A), seguida de filtração em filtro de 0,22 µm GEHAKA®(B)..... 31

Figura 10: Aparelho Milli-Q® de filtração em filtro de 0,22 µm (EASYpure II, BL Barnstead®)..... 32

Figura 11: Lodo seco e tratado: moagem no triturador "cutter" (A), seguido de peneiramento (B)..... 33

Figura 12: Coleta do lodo fora do forno, pós tratamento pelas micro-ondas, para análise microbiana..... 35

Figura 13: Aspecto do lodo LB1 e LB2 proveniente do abatedouro avícola..... 41

Figura 14: Aspecto do lodo LB3 e LB4 proveniente do abatedouro avícola..... 42

Figura 15: Aspecto do lodo LB5 e LB6 proveniente do abatedouro avícola..... 42

Figura 16: Aspecto do lodo LB7 e LB8 proveniente do abatedouro avícola..... 43

Figura 17: Aspecto do lodo LB9 e LB10 proveniente do abatedouro avícola..... 44

Figura 18: Umidade e substâncias voláteis dos lotes (LB) de lodo provenientes de abatedouro avícola..... 44

Figura 19: Curva temperatura em função do tempo do processo de secagem do lodo orgânico em micro-ondas de cavidade rotativa, com as respectivas faixas de temperatura: A (30ºC de 0-4,3 min); B (31-99ºC, 4,3-81,2 min); C (102 ºC, 84,9-107,8 min); D (105-106 ºC, 117,1-129,9 min); E (103-100 ºC, 130,0-163,6 min); F (resfriamento) 53

Figura 20: Secagem de lactose em forno micro-ondas padrão 53

Figura 21: Densidade real das amostras: Tratamento Prévio - TP (lodo tratado previamente a céu aberto), T100 (lodo tratado previamente + secagem a 100ºC no micro-ondas), T504 (lodo tratado previamente + tratamento a 504ºC no micro-ondas) 54

Figura 22: Absorbância da turbidez em diferentes comprimentos de ondas, das amostras de lodo incubadas em BHI: TP (tratamento prévio); T100 (secagem a 100ºC em forno micro-ondas); T504 (tratamento a 504ºC em micro-ondas) 59

LISTA DE TABELAS

Tabela I: Limites máximos de contaminantes admitidos em substrato para plantas, em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo 14

Tabela II: Limites máximos de microrganismos e parasitas admitidos em: substrato para plantas, fertilizantes orgânicos, e condicionadores de solo 16

Tabela III: Resumo das características dos lotes de lodos, recebidos do abatedouro avícola . 45

Tabela IV: Revisão da literatura dos teores máximos em metais pesados admitidos no lodo de esgoto a ser utilizado na agricultura 55

Tabela V: Concentração de nutrientes e de metais pesados presentes no lodo de abatedouro avícola e de esgoto 56

Tabela VI: Absorbância da turbidez em diferentes comprimentos de ondas e em diferentes tempos, das amostras de lodo incubadas no BHI: TP (tratamento prévio); T100 (secagem a 100ºC em forno micro-ondas); T504 (tratamento a 504ºC em micro-ondas) 60

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A	área da superfície (cm ou m);
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ALE	Alemanha;
As	arsênio;
B	boro;
Ba	bário;
BHI	*Brain Health Infusion Broth;*
BOD	estufa incubadora;
BR	Brasil;
bs	base seca
bu	base úmida
c	calor específico (J/kg.K);
Ca	cálcio;
cal	caloria;
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo ou Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental;
Cd	cádmio;
cm	centímetro;
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente;
C-orgânico	carbono orgânico;
CO_2	gás carbônico;
conc	concentração;
cp = calor especifico $\left(\frac{kJ}{kg°C}\right)$	
Cr	cromo;
Cu	cobre;
CV	coeficiente de variação (%);
D	densidade (g ou kg/mL ou L);
DIN	Dinamarca;
DR	densidade real (g ou kg/mL ou L);
DTA	Doenças Transmitidas por Alimentos;
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;

ESP	Espanha;
ETE	Estação de Tratamento de Esgosto;
EUA	Estados Unidos;
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais;
Fe	ferro;
FR	França;
g	grama;
Gás LP	mistura de hidrocarbonetos propano e butano;
h	horas;
Hg	mercúrio;
HOL	Holanda;
Hz	Hertz;
I	corrente lida x magnetron (A)
IN SDAS	Instrução Normativa da Secretária de Defesa Agropecuária;
k	coeficiente de condutividade térmica do material;
K	potássio;
kg	kilograma;
Kr	condutância térmica;
kWh	quilowatts hora;
L	litros;
L	espessura do material (mm ou cm ou m);
LB	Lote Bombona;
m	metro;
m	massa (g ou kg);
MA	massa da carga de lodo orgânico previamente tratado (kg);
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento;
Mg	magnésio;
mL	mililitros;
mLA	massa do lodo sem tratamento (g);
mLS	massa do lodo sem tratamento desidratado (g);
Mo	molibdênio;
ms	massa da amostra seca (g ou kg);
N	nitrogênio;

NBR	Norma Técnica;
Ni	níquel;
NPK	nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K);
ONDATEC	Empresa Tecnologia Industrial em Micro-ondas ;
P	fósforo;
P	potência (W);
PEAD	polietileno de alta densidade e alto peso molecular;
pH	escala numérica adimensional utilizada para especificar a acidez ou basicidade de uma solução aquosa;
Pb	chumbo;
q1	calor sensível (kJ)
q2	calor para aquecer a água (kj)
q3	calor necessário para evaporar a água (kj)
q4	calor necessário para aquecer o lodo previamente tratado seco até 500°C (kj)
Q”	Fluxo térmico (W/m^2);
Q	Taxa de transferência de calor por radiação (W);
Q	quantidade de calor (cal ou J);
R_r	resistência térmica;
s	segundo
S	enxofre;
S.A.	Sociedade Anônima;
Se	selênio;
SUE	Suécia;
t	tensão elétrica (V)
T	(^oK ou ^oC);
T100	tratamento micro-ondas até 100ºC;
T504	tratamento micro-ondas até 504ºC;
TP	tratamento prévio;
TP-L	lote de lodo orgânico submetido a tratamento prévio;
Ts	Temperatura da superfície (^ok);
Tviz	Temperatura da vizinhança (^ok);
vEtOH	volume de etanol gasto (mL ou L);
USV_{bu}	umidade e substâncias voláteis em base úmida (g ou %);
USV_{bs}	umidade e substâncias voláteis em base seca (adimensional);

USV	umidade e substâncias voláteis (m ou %);
UFC/g	Unidade Formadora de Colônias por grama;
UFC mL^{-1}	Unidade Formadora de Colônia por mililitro (diluição centesimal);
v	volume (mL ou L);
V	volts;
W	watt (potência - equivalente a um joule/segundo);
Zn	zinco.

LISTA DE SIMBOLOS

b	constante de proporcionalidade, constante de dispersão de Wien (m.K) (metro x Kelvin);
%	porcentagem;
σ	constante de Stefan-Boltzmann ($W/m^2.k^2$);
£	emissividade da superfície emissora ($0<£\leq 1$);
°C	grau centígrado;
µm	micrometro;
m^2	metro quadrado;
m^3	metro cúbico;
^oGL	grau Gay-Lussac;
^oK	graus Kelvin;
Δt	variação do tempo (s ou min ou h);
Δθ	variação de temperatura (°C ou °K);
λ	calor latente de evaporação ($\frac{kj}{kg°C}$)
λmax	lambida (nm) comprimento de onda (em metros) onde a intensidade da radiação eletromagnética é a máxima;

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 1

CAPÍTULO 1 – DADOS DA LITERATURA 6

1.1 Características dos resíduos de abatedouro avícola 6
1.2 Metais pesados e nutrientes em lodo e fertilizante orgânico 11
1.3 Aspectos microbiológicos do lodo orgânico 15
1.4 Processos de secagem de lodo orgânico 17
1.5 Transferência de calor pelas micro-ondas 19
1.5.1 Condutividade térmica 24
1.5.2 Radiação 25

CAPÍTULO 2 - MATERIAL E MÉTODOS 26

2.1 Lodo orgânico 26
2.1.1 Obtenção 26
2.1.2 Pré-tratamento 27
2.2 Equipamento utilizado 28
2.2.1 Características do forno micro-ondas 28
2.2.2 Tratamento T100 - Secagem 28
2.2.3 Tratamento T504 29
2.3 Análises realizadas 29
2.3.1 Aspecto Visual 29
2.3.2Umidade e substâncias voláteis residual 29
2.3.3 pH 31
2.3.4 Metais pesados e Nutrientes 33
2.3.5 Densidade real 34
2.3.6 Carga microbiana 35
2.3.7 Eficiência do forno micro-ondas 36
2.3.8 Curva de temperatura na secagem 39

CAPÍTULO 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO 40

3.1 Características do lodo proveniente de abatedouro avícola 40
3.2 Pré-tratamento do lodo 46
3.3 Eficiência do forno micro-ondas na secagem e tratamento do lodo orgânico 47
3.3.1 Cálculo do calor - Tratamento T100 47
3.3.2 Cálculo do calor - Tratamento T504 50
3.3.3 Secagem - Tratamento T100 52
3.4 Caracterização dos produtos obtidos pela ação das micro-ondas 54
3.4.1 Densidade das partículas 54
3.4.2 Metais pesados e nutrientes 55
3.4.3 Carga Microbiana 58

CONCLUSÃO 62

PERSPECTIVAS FUTURAS 63

REFERÊNCIAS 64

ANEXO 71

INTRODUÇÃO

A utilização das micro-ondas para secagem do lodo orgânico de abatedouro avícola, é um tema bem específico, onde poucos dados são descritos na literatura, de acordo com o levantamento bibliográfico realizado, o que justificou a busca de trabalhos acadêmicos ainda não publicados em revistas científicas.

A presença de resíduos oriundos de abatedouros avícola, é uma realidade no Triângulo Mineiro, constituindo efluentes, onde o lodo orgânico gerado é uma fração deste efluente. O lodo gerado na lagoa de decantação em abatedouros avícola é proveniente dos resíduos gerados no processo de abate das aves. Os principais resíduos gerados são: sangue; fezes; gorduras; fragmentos de penas, de carnes e de tecidos.

No Triangulo Mineiro existe em média 102 abatedouros avícola em atividade. A prefeitura de Uberaba não é responsável pelo recebimento dos resíduos gerados pelo abatedouro avícola da região, sugerindo que os outros municípios seguem o mesmo protocolo, sendo o abatedouro responsável pela destinação final de seus resíduos gerados, dentre eles o lodo orgânico. No funcionamento do abatedouro como descrito no fluxograma a seguir (Figura 1), da entrada das aves e da água para beneficiamento até a saída dos produtos comercializados, é gerado a água de lavagem contendo resíduos sólidos das aves que compõe o efluente que é destinado a lagoa de decantação. O atual trabalho consiste no tratamento do resíduo sedimentado na lagoa de decantação, denominado de lodo orgânico, por ser proveniente de efluente que contem resíduos orgânicos, que são fragmentos das aves.

Geralmente o lodo fica depositado na lagoa de decantação por 3 a 5 anos, porém o material que recebeu tratamento neste estudo, foi retirado da lagoa após 23 anos de decantação. O efluente que gera o lodo orgânico, antes de ser bombeado para a lagoa, passa por tratamentos, como: processo biológico; processo físico-químico; flotação; eliminação de fragmentos volumosos como descrito no fluxograma representado na Figura 2. Após retirado do fundo da lagoa de decantação, o lodo orgânico é depositado no pátio do abatedouro, no aguardo do destino final, podendo ser: aterro sanitário, uso agrícola; recomposição de áreas degradadas e em reflorestamento; incineração; descarte em oceanos, e depósito próprio no pátio do abatedouro quando permanece nele por anos.

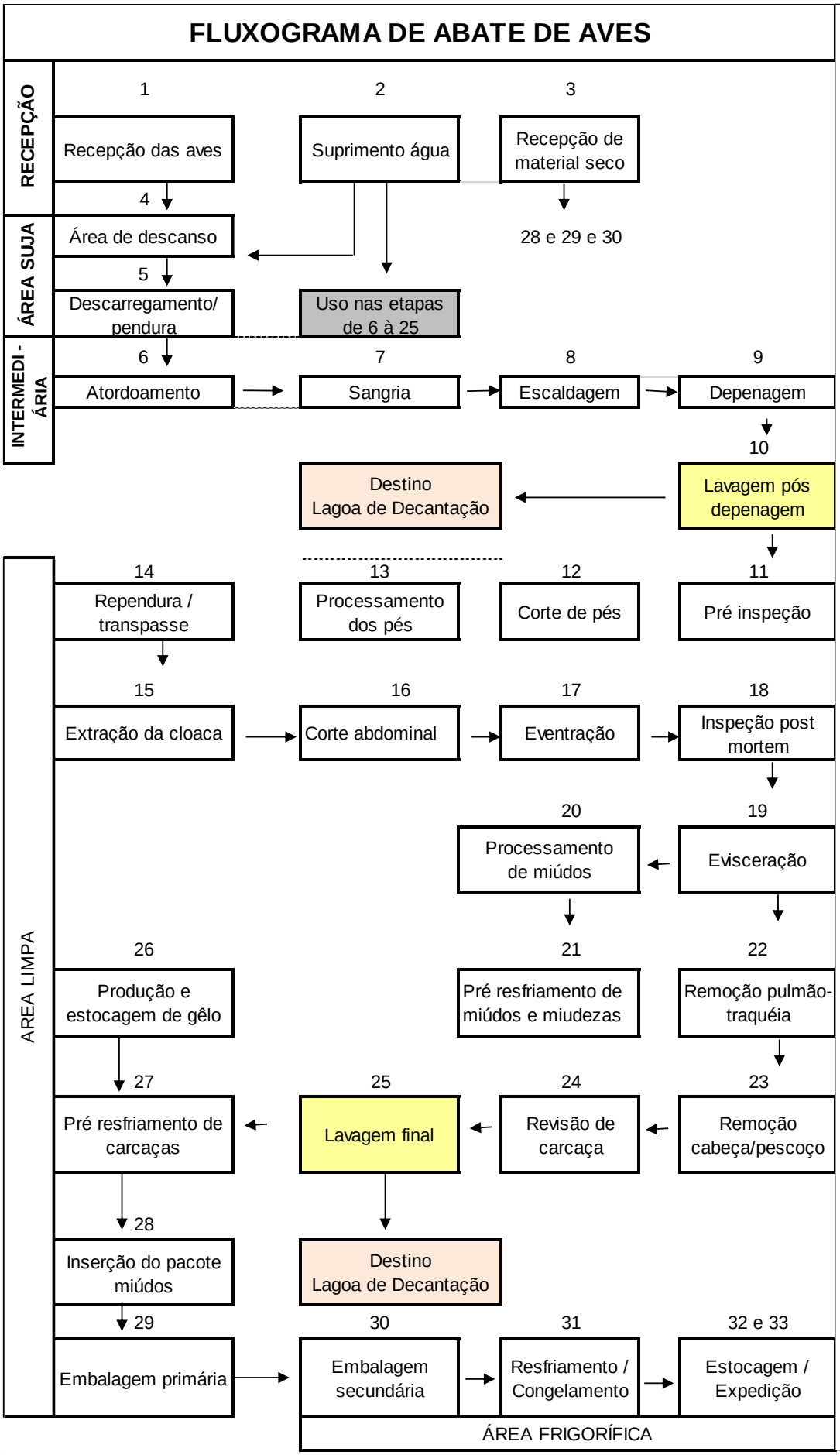


Figura 1: Fluxograma de funcionamento do abatedouro avícola.
Fonte: da autora M. C. JERÔNIMO (2019).

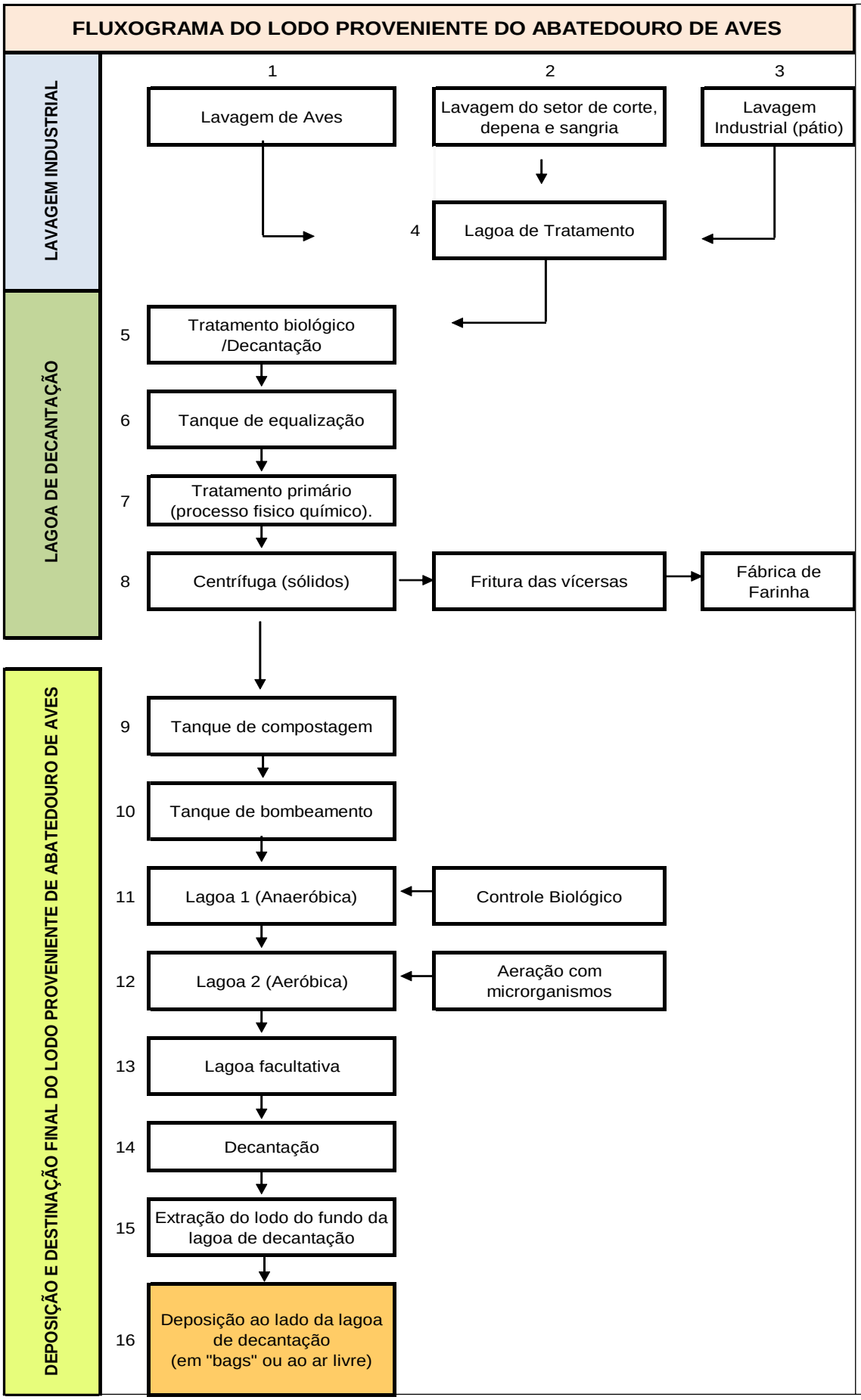


Figura 2: Fluxograma da geração do lodo a partir do efluente (lavagem final).
Fonte: da autora M. C. JERÔNIMO (2019).

Neste trabalho, aborda-se diferentes enfoques sobre os aspectos e processamento do lodo como descritos nos parágrafos a seguir.

O lodo proveniente de abatedouro de animais apresenta elevado teor de matéria orgânca, o que justifica sua denominação de lodo orgânico. O lodo é retirado mecanicamente do fundo da lagoa de decantação e é colocado no pátio ao ar livre da empresa, permanecendo em bags ou sobre o terreno de terra, por meses, até definição da destinação final, fazendo com que eles apresentem heterogenicidade quanto ao aspecto, cor e consistência.

A norma que rege fertilizantes oriudos de resíduos orgânicos, como o lodo, é um item importante no trabalho atual, pois definem os teores máximos e mínimos de metais pesados, nutrientes e microrganismo permitidos para que possam ser utilizados como produtos destinados a comercialização. Os principais elementos que são ressaltados na legislação são: cromo (Cr), níquel (Ni), zinco (Zn), e ferro (Fe). Utilizando as legislações existentes de fertilizantes comparamos os valores máximos e mínimos permitidos em outros países, como por exemplo os Estados Unidos, com os limites estipulados pela legislação brasileira. O cumprimento das normas legais, é uma questão primordial para colocar produtos a base de lodo orgânico, no mercado.

No trabalho é descrito diferentes processos de secagem de lodos orgânicos, incluindo a descrição de propriedades termofísicas, apresentando os conceitos de transferência de calor, dentre eles por radiação não ionizante e condutividade térmica, densidade do lodo, a eficiência da secagem e da inativação microbiana do lodo pelas micro-ondas de forno de cavidade rotativa em escala piloto. Descreve-se ainda a influência da ação das micro-ondas na composição de metais pesados e nutrientes do lodo orgânico.

A abordagem dos aspectos microbiológicos do lodo orgânico, foi realizado por ser um tema importante, uma vez que a contaminação dos alimentos por microrganismos, que levam a contaminação patogênica ao homem, pode ter origem na contaminação do solo, que pode estar relacionado aos produtos contaminados nele depositados. Este fato justifica a busca de um processo que além de promover a secagem, promova a inativação bacteriana. Por isso realizar a secagem e a inativação simultaneamente em uma única etapa do processo traria rapidez e simplificação do processamento, é o que se espera com o uso da tecnologia envolvendo as micro-ondas.

A importância do tema está baseada na necessidade de tratar o lodo orgânico de abatedouros avícola, por estas indústrias gerarem elevado volume deste resíduo que são

poluidores do meio ambiente em potencial, devido a presença de metais pesados e microrganismos, e por não ter uma destinação final adequada para todo o volume gerado, que é de responsabilidade do abatedouro. Fato este que justifica, o desenvolvimento de projetos de pesquisa, visando solucionar este problema, pelo tratamento destes resíduos para minimizar os impactos causados e gerar um produto agregado para os abatedouros. A eliminação de microrganimos em lodo orgânico se faz necessário pois podem contaminar o solo e os vegetais nele cultivados e serem patogênicos ao homem. A pesquisa da presença de metais pesados em lodo orgânico de abatedouros avícola é importante porque constitui um dos maiores entraves para sua aplicação como fertilizante e/ou condicionador de solo, pois os metais pesados são absorvidos pelos vegetais promovendo contaminação do mesmo e inviabilizando o consumo do vegetal.

A busca da solução para os resíduos gerados depositados em abatedouros avícola do Triangulo Mineiro, contribui com a indústria, para que a mesma possa tratar este resíduo, minimizando seu impacto ao meio ambiente, gerando um subproduto e aumentando assim o valor agregado do processo.

O objetivo deste estudo consiste em secar e tratar o lodo orgânico obtido da lagoa de decantação, gerado a partir de efluentes de abatedouro avícola, utilizando forno micro-ondas de cavidade rotativa em escala piloto. Será determinado as características físicas e umidade do lodo e avaliado o processo de secagem e tratamento pelas micro-ondas deste resíduo. A secagem do lodo tem como finalidade a sua reciclagem como fertilizante, para isto se faz necessário avaliar o teor de metais pesados, nutrientes e a carga microbiana, antes e após tratamento pelas micro-ondas.

CAPÍTULO 1 – DADOS DA LITERATURA

Em levantamento bibliográfico, o tema “características do lodo de abatedouros avícola” foi pouco abordado, assim sendo, este capítulo abordará aspectos de efluentes e seus respectivos lodos de diferentes origens orgânicas. Este capítulo abordarár também os metais pesados, nutrientes e aspectos microbiológicos do lodo orgânico, assim como os processos de secagem e a transferência de calor pelo processo que ululiza as micro-ondas.

1.1 CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS DE ABATEDOURO AVÍCOLA

Serão aqui descritos dados da literatura que se referem às características dos resíduos provenientes do abatedouro avícola, sendo eles o efluente e o lodo originado do efluente depositado na lagoa de decantação. A abordagem do efluente se faz necessária, pois o lodo geralmente contém substâncias que também estão presentes no efluente.

1.1.1 Efluente

Segundo a Norma Técnica 9.800 - NBR 9.800, efluente líquido é considerado todo líquido vindo de processo de produção industrial ou das águas e esgoto sanitários (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987). Os resíduos e efluentes são destinados à reciclagem, e à obtenção de subprodutos e/ou produtos, que são de interesse econômico, tem sido um desafio, o que contribui para a busca de pesquisas que possam: contribuir para alcançar este objetivo; diminuir a poluição; agregar valor aos resíduos, aos efluentes e aos seus subprodutos (BORGES; SELLIN; MEDEIROS, 2008).

Os resíduos de efluentes provenientes de abatedouros avícolas caracterizam-se por ter um elevado teor de matéria orgânica e carga patogênica, sendo assim, caracterizando esses resíduos como poluentes (SUNADA, 2011; HUBNER, 2001), ao meio ambiente e ao meio aquático, se não tratados (BARROS, 2005; FERNANDES JUNIOR; MENDES, 2006). Trata-se de um efluente liquido, gerado após o abate das aves contendo: sangue (quando não comercializado), penas (despenagem com água a 50 - 60°C), vísceras, moelas e pulmões (processo de evisceração), pelos, óleos e gorduras, sólidos do conteúdo intestinal, água de lavagem constante dos

equipamentos, área de abate e de escaldagem de pés e cabeça, fragmentos de tecidos (BRILHANTE; CALDAS, 1999; HUBNER, 2001; SENA, 2005).

De acordo com Bassoi (1991), no processo indústrial de abate avícola é utilizado cerca de 25 a 30 L de água por ave. Para a redução do impacto ambiental é evidente a urgência no reaproveitamento e destinação correta dos efluentes provenientes de abatedouros avícola, e seus rejeitos gerados, como o lodo orgânico (FEISTEL, 2011), em da água de reuso e fertilizantes orgânicos para diminuição de poluentes e preservação saúde pública. Os efluentes que apresentam elevado teor de matéria orgânica e de microrganismos, e que são gerados no processo de abatimento de aves em indústrias tem agregação de valor após tratamento, devido a liberação do biogás, biofertilizantes e compostos ricos em nutrientes que podem ser utilizados como fertilizantes agropecuários, resultando uma fonte de renda alternativa (SUNADA, 2011).

No trabalho apresentado por Minghini (2007) foi demonstrado a qualidade da água de reuso, proveniente de abatedouro avícola para fins de irrigação. Os testes foram comparados com os valores máximos e mínimos permitidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução nº 357/05 (BRASIL, 2005). Os resultados mostraram que o pH , a condutividade elétrica e o nitrato estavam dentro do limite maximo permitido, já o fósforo e os sólidos sedimentáveis econtravam-se bem acima dos limites estabelecidos para irrigação, o alumínio estava a baixo do valor limite estabelecido (MINGHINI, 2007), e a quantidade apresentada de nutrientes é ideal para o uso do efluente de abatedouros para irrigação como fertilizantes agrícola para o solo, se não fosse a elavada quantidade de coliformes fecais (vide "*item 1.3 – Aspectos Microbiológicos do Lodo Orgânico*") e o alto teor de sólidos sedimentáveis, inviabilizando a indicação deste efluente, para irrigação na agricultura.

No tratamento de efluentes de esgosto da Grande São Paulo e arredores, é gerado lodo com 40 a 60% de matéria orgânica e em torno de 600 toneladas por dia. Entre as alternativas existentes para destinação do lodo, é descrito duas opções: descarte ou uso como condicionador de solo e/ou fertilizante. A reciclagem dos resíduos (lodo orgânico) é citada como sendo uma solução para diminuir os impactos ambientais, sendo eles oriundos de esgotos indústriais e humano os mais discutíveis, onde a disposição final do resíduo é um problema que traz transtornos ambientais, pela excasses de espaço e local adequado. Uma das soluções encontrada como destinação final do lodo foi a produção de agregado leve padrão para fins de construção civil, à partir deste resíduo (BETTIOL, 1982; CARVALHO, 1982).

De acordo com Santos e colaboradores (2006) os efluentes gerados nas industrias são constituídos de duas frações considerados poluentes, sendo eles, dissolvido e em suspensão. Estes poluentes durante o tratamento geram gases inertes e/ou sólidos sedimentáveis, que dão origem ao lodo estável (subprodutos sólidos), e que posteriormente são separadas em duas fases: sólida e líquida (PASSIANOTO *et al.*, 2001).

1.1.2 Lodo do Tanque de Decantação

O tratamento do efluente de abatedouro avícola no tanque ou lagoa de decantação, é uma etapa que visa eliminar os fragmentos em suspensão e que são responsáveis pela turbidez na água, e que leva a formação de lodo com elevados teor de matéria orgânica depositado no fundo das lagoas de decantação, designado neste trabalho como sendo lodo orgânico (HUBNER, 2001). No lodo de esgoto da Grande São Paulo e vizinhança, é descrito o teor em matéria orgânica como sendo 31,74% (BETTIOL, 1982; CARVALHO, 1982). De acordo com Borges e colaboradores (2008) descreveu que o lodo de esgoto de São Paulo apresenta 27,5 % de carbono, valor este considerado baixo pelo autor e que pode estar relacionado com a coleta da amostra ocorrida em diferentes pontos.

No processo de limpeza da lagoa, o lodo retirado é normalmente depositado ao ar livre ou em “bags” de malha, que permite a evaporação da água colaborando com o processo de secagem deste lodo, como representado na Figura 3.



Figura 3: Lodo em “bags” depositado ao lado da lagoa de tratamento de esgoto, Campinas.
Fonte: (SANTOS, 2010).

Segundo a NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) o lodo proveniente de lagoa de decantação, é denominado de resíduo. Este resíduo é resultado de atividades industriais, agrícolas e domésticas, incluindo lodos das estações de tratamento de efluentes, onde nenhum dos residuos pode ser lançados em esgotos públicos, sem antes passarem por tratamento, de acordo com a legislação especifica. Os dejetos de origem agrícola, pluvial, comercial, industrial, doméstica entre outras são caracterizados como esgoto ou águas residuárias. Existem diferentes tipos de esgotos industriais, e o que determina a característica de cada um são os componentes do resíduo oriundos da atividade desenvolvida na indústria que gera diferença na composição do lodo (PINHEIRO, 2007).

Os resíduos sólidos e semi-sólidos são considerados como rejeitos oriundos de atividades industriais agrícolas, incluindo os lodos gerados nas estações de tratamento de efluentes, e sendo considerados resíduos perigosos os lodos provenientes de borra de alcatrão obtidos do tanque de decantação utilizado no sistema de tratamento de gases gerados na coqueificação do carvão (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo ou Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (1999) os lodos são aqueles que são provenientes de tratamento biológico, incluindo os dejetos líquidos sanitários, que foram tratados adequadamente para ser aplicado na agricultura. O lodo proveniente de abatedouros avícola é denominado de lodo orgânico (SENA, 2009), e quando ele é utilizado na agricultura, como fertilizantes agrícolas, o termo biossólido é empregado para designar este produto (SENA, 2005).

A norma CETESB (1999) protege a aplicação do lodo em área agrícola desde que proporcione benefícios para o cultivo local e que sejam respeitados os critérios que são responsáveis pela proteção dos recursos ambientais, também define critérios para coleta de amostras do lodo, e os seus respectivos métodos de análise. Para a caracterização do lodo precisa ser definido: a presença de agentes patogênicos; a composição química; e a umidade. A CETESB, determina igualmente, critérios que visam o uso do lodo de curtume, que também são gerados em sistema de tratamento dos dejetos, em áreas agrícolas (ABREU JUNIOR *et al*., 2005). São diversas as alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos (TSUTIYA, 2000), tais como: aterro sanitário; uso agrícola; em reflorestamento e recomposição de áreas degradadas; incineração; descarte em oceanos, etc (PINHEIRO, 2007; TSUTIYA, 2000).

A disposição final de lodo de esgoto oriundo de efluentes no estado de São Paulo é um problema e representa de 30 a 40% dos gastos com as operações da estação de tratamento de águas como descrito por Carvalho (1982) sendo, sua destinação como fertilizante agrícola ou condicionador de solo, uma das soluções mais sensatas, uma vez que quando colocados em aterros sanitários o custo é elevado e que o volume a ser descartado é maior que o espaço oferecido pelo aterro. Outra justificativa para o uso do lodo de esgoto na agricultura é que, ele é rico em nutrientes orgânicos porém, apresenta o desafio de levar para o campo agrícola um lodo que não gere poluição para o meio ambiente e que respeite as normas de higiene pública de acordo com as exigências da legislação, e que seja economicamente aceitável (CARVALHO, 1982).

O lodo é rico em nutrientes e tem alto teor de matéria orgânica, sendo assim, é recomendado para utilização como condicionador de solo e/ou fertilizantes. Segundo Bettiol (1982) existem várias pesquisas que mostram que os fertilizantes comerciais podem ser substituídos ou complementados pelo lodo de esgoto. Quando o lodo orgânico proveniente de abatedouro avícola é destinado de forma inadequada na agricultura ou em aterro sanitários, pode trazer sérios problemas ao meio ambiente, que pode ser infiltrado no solo e atingir o lençol freático (SENA, 2009). Os aterros sanitários são considerados locais a serem destinados esse tipo de resíduo, e somente quando os resíduos são tratados, é que eles podem ser utilizados como adubo orgânico. Apenas a fração da gordura de aves presente no resíduo tem alto poder calorífico (FRANCO, 2016), quando separado antes de ser incluído no efluente e devidamente seco, gera 30% a mais de energia do que a lenha no abastecimento de caldeiras.

A destinação de resíduos e efluentes para reciclagem e obtenção de subprodutos ou de produtos, que tenham interesse econômico, vem sendo estudado para solucionar este desafio, gerando projetos de pesquisas que possam contribuir com este objetivo, visando a diminuição da poluição e agregando valor aos resíduos, efluentes e seus subprodutos (BORGES; SELLIN; MEDEIROS, 2008). Em regiões dos Estados Unidos existe a comercialização expressiva dos lodos de esgoto como fertilizante (DAVID; TSUTIYA, 2001). No fluxograma da Figura 4 está descrito os possíveis destinos para o lodo orgânico proveniente da lagoa de decantação de abatedouro avícola.

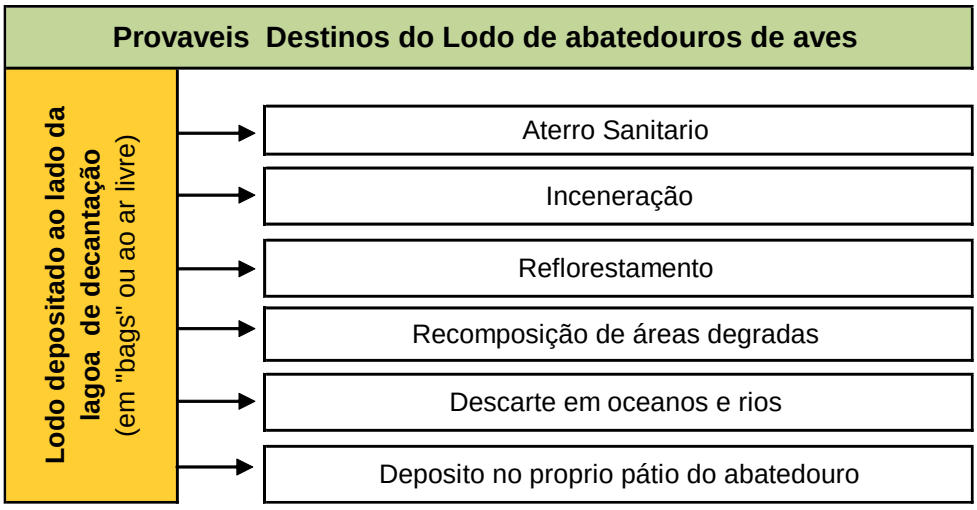


Figura 4: Fluxograma dos prováveis destinos do lodo da lagoa de abatedouro avícola.
Fonte: da autora M. C. JERÔNIMO (2019).

1.2 METAIS PESADOS E NUTRIENTES EM LODO E FERTILIZANTE ORGÂNICO

A caracterização dos resíduos tem como finalidade, verificar a potencialidade do seu uso na agricultura, e para isso é necessário analisar a origem, os aspectos e a quantidade da matéria prima disponível e acrescidos ao processo, o regime de produção, e a necessidade de pré tratamento (ABREU JUNIOR *et al.*, 2005). O uso em solo de efluentes e de seus respectivos lodos, é incentivado desde 1972, desde que processados e ausentes de metais pesados e outros elementos considerados perigosos para os vegetais comestíveis cutivados como: boro, cádmio, cobalto, cromo, cobre, mercúrio, níquel, chumbo e zinco (PINHEIRO, 2007). Este estímulo abre campo de pesquisa para transformar lodos de efluentes em fertilizantes orgânicos. Existem vários resíduos orgânicos provenientes da industria e da agricultura que podem ser reutilizados na agricultura em forma de adubo orgânico com freqüência sendo esta prática econômica e sustentável (ABREU JUNIOR *et al.*, 2005).

Indústrias de abatimentos de animais geram uma quantidade de efluentes líquidos com elevada concentração de poluentes, e o tratamento destes resíduos tem sido uma preocupação do setor agroindustrial brasileiro desde 2005, onde o mercado vem procurando soluções para adequar o resíduo, às questões ambientais, buscando a sua reutilização (SENA, 2005), e minimizar os impactos causados ao homem e ao meio ambiente, diminuindo a quantidade do reíduo e a possibilidade do descarte de resíduos em locais não permitido. A destinação comum

para esse tipo de resíduo (lodo orgânico) são os aterros sanitários e como alternativa para o processamento do lodo tem-se o tratamento térmico, visando aplicação desse material, após tratamento como adubo orgânico e fonte de energia à partir do gás gerado quando apresentar alto poder calorífico (ZANOTTO *et al*., 2006). Esse tratamento tem sido uma grande preocupação do setor agroindustrial brasileiro devido ao mercado estar cada vez mais preocupado com as questões ambientais e com a reutilização de resíduos (SENA, 2005). Estes fatos justificam a elaboração de pesquisas direcionadas ao tratamento buscando qualidade na aplicação desejada.

Os resíduos pastosos de lagoas de decantação, oriundos de efluentes, como lodo orgânico de rejeitos humano, de animais e industriais, independentes da sua composição, devem atender às normas prescritas pela resolução do CONAMA Nº 357 de 17/03/05 (BRASIL, 2005) assim como os resíduos pastosos de lagoas de decantação (lodo orgânico), oriundos de efluentes humano e de animais. As legislações federais, que dispõem sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes de acordo com a Lei 6.984/80 (BRASIL, 1980), foram regulamentadas pelo Decreto 4.954 de 16/12/2004 (BRASIL, 2004). No Artigo 2º deste decreto encontram-se as seguintes definições:

> "A - ***Fertilizante***: substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, fornecedoras de um ou mais nutrientes de plantas".
>
> "A.1 - ***Fertilizante Orgânico***: produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais".
>
> "A.1.1 - ***Fertilizante Orgânico Simples***: produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas".
>
> "B.1 - ***Condicionador do Solo***: produto que promove a melhoria das propriedades físicas, físico-químicas ou da atividade biológica do solo".

Algumas das características que pode-se citar do lodo gerados pelas indústrias de abatimentos de animais como aves e bovinos e suínos são: altos conteúdos de nitrogênio, fósforo, sal, sais de cura, compostos aromáticos no caso de defumação de carnes, concentração de sólidos entre outros, lembrando que as características do lodo varía de acordo com o processo de cada indústria do consumo de água por frango abatido (BARROS; NERY; DAMIANNOVIC, 2002). De acordo com Silva Junior (2018), o lodo orgânico de abatedouros avícola oriundo do Triângulo

Mineiro apresenta 3,25% de nitrogênio (N), 2,58% de fosforro (P), 0,18% de potássio (K), 6,01% de macronutrientes primários NPK (nitrogênio, fósforo, potássio), 2,01% e 5,54 de macronutrientes secundários (cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S)), favorecendo o seu uso como fertilizante para a maior parte dos cultivos, com excessão das hortaliças, pois não foi realizado o estudo dos teores de metais pesados.

Os metais pesados estão presentes em diferentes lodos orgânicos, como o lodo proveniente de esgoto (PAGE; LOGAN; RYAN, 1987; OLIVEIRA *et al*., 2002), o que impossibilita seu uso como adubo em solos agrícolas (OLIVEIRA; MATTIAZZO, 2001), pois quando aplicado no solo frequentemente promove um acúmulo das mesmas como demonstrado no trabalho de Oliveira e Mattiazzo (2001), que registraram o aumento da concentração de Cu, Cr, Ni e Zn na camada superficial (0 - 20 cm) de latossolo amarelo em cultivo de cana, durante 2 anos, assim como o acumulo de carbono orgânico (C-orgânico) do solo (OLIVEIRA *et al*., 2002). Os metais pesados presentes no solo podem ser absorvidos pelos vegetais cultivados neste ambiente (PAGE; LOGAN; RYAN, 1987; OLIVEIRA; MATTIAZZO, 2001). Os metais presentes no lodo podem ser absorvidos pela matéria orgânica e ficar disponíveis à medida que a decomposição acontece (PINHEIRO, 2007), acumulando em excesso no solo ou nas plantas (EMBRAPA, 2014), de acrodo com estudo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. A determinação dos micronutrientes e metais pesados boro, zinco, chumbo no fertilizante orgânico é fundamental para comercialização de fertilizantes orgânicos, conforme a legislação vigente (BRASIL(b), 2006), pois são danosos para as plantas e solo. O serviço consultivo agrícola Nacional Britânico observou um crescimento inadequado das culturas depois da aplicação do lodo que apresenta metais pesados (PINHEIRO, 2007). Como relatado na literatura, a presença do boro (B) e do zinco (Zn) no solo, são fundamentais no cultivo das bananeiras, pois este vegetal necessita destes micronutrientes (EMBRAPA, 2014).

Os elementos boro, cádmio, cobalto, cromo, cobre, mercúrio, níquel, chumbo e zinco sendo potencialmente perigosos para as plantas e para o solo, o controle das suas concentrações no solo e nos lodos ou seus fertilizantes, se faz necessário uma vez que eles tem capacidade de fixar no solo promovendo o efeito cumulativo e é observado um crescimento inadequado dos vegetais cultivados nestes solos. O controle dos elementos é proposto na forma de elemento equivalente = (conc Zn) + (2x conc Cu) + (8x conc Ni), e sua associação com a capacidade de troca catiônica do solo (PINHEIRO, 2007).

De acordo com a Instrução Normativa nº 7, de 12 de Abril de 2016 (BRASIL, 2016), os substratos que as indústrias utilizam em sua linha de produção, tem que atender os limites máximos de contaminantes em substratos para plantas, em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo (Tabela I).

Tabela I: Limites máximos de contaminantes admitidos em substrato para plantas, em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo.

Contaminantes	**Valor máximo admitido (mg/kg)**	
	Substratos para Plantas	**Fertilizantes Orgânicos e Condicionadores de Solo**
Arsênio	20,00	20,00
Cádmio	8,00	3,00
Chumbo	300,00	150,00
Cromo	500,00	-------
Cromo hexavalente	-------	2,00
Mercúrio	2,50	1,00
Níquel	175,00	70,00
Selênio	80,00	80,00
Materiais inertes	Vidros, plásticos, metais > 2mm	0,5% na massa seca
	Pedras > 5mm	5,0% na massa seca

Fonte: Anexo 4 IN SDA nº 7, de 12/04/2016 (BRASIL, 2016).

O fertilizante orgânico deve conter os sais minerais específicos para cada vegetal a ser cultivado, como é descrito no cultivo de bananeiras (EMBRAPA, 2014), onde a quantidade de nutrientes no fertilizante sendo aquém do necessário para desenvolvimento desse vegetal, promove um desequilíbrio nutricional, que passa a ser visível alteração da coloração e tamanho das folhas. Daí a importância do estudo dos micros e macros nutrientes do fertilizante orgânico que é fornecedor de nitrogênio para os vegetais, onde além da necessidade nutricional do vegetal para a seleção do fertilizante orgânico, se faz também necessário a análise do solo onde será cultivado os vegetais, para definição da quantidade e tipo de fertilizantes a serem acrescidos durante o cultivo, prática esta definida como correção do solo (EMBRAPA, 2014).

Em 1973 na conferência de Illinois foram reunidas e discutidas por diversos especialistas, os resultados das pesquisas referentes à utilização de lodos em solos como fertilizantes, sendo uma das preocupações enfatizadas era o impacto dos metais passados e outros elementos que podem estar presentes no lodo (PINHEIRO, 2007).

1.3 ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS DO LODO ORGÂNICO

Os resíduos orgânicos contém em sua composição biomassa microbiana, que são igualmente denominados de lodos biológicos ou secundários (BARROS, 2005). O estudo microbiológico em lodos tem sua importância, por ser uma das maiores causas das doenças e mortes na população pelos alimentos contaminados, denominadas de Doenças Transmitidas por Alimentos – DTA, que como responsáveis, além do agente microbiológico é também citado os agentes pesticidas, metais pesados, micotoxinas (SARTER; SARTER; GILABERT, 2010; PIGOTT, 2008). Aymerich e colaboradores (2008) atribuem a contaminação microbiana das carnes processadas como alimento, a falta de procedimentos sanitários corretos no processo em abatedouros como: corte, e abate de animais, o que leva essa contaminação à transmissão de agentes patogênicos nos humanos.

Em estudo de Minghini (2007) a água de reuso, obtida de efluentes proveniente de abatedouro avícola para fins de irrigação apresentaram quantidade de coliformes fecais bem acima dos limites estabelecidos para irrigação na agricultura (BRASIL, 2005). Este dado sugere que a água de reuso com este nível de contaminação com coliformes fecais não seja utilizada para irrigação como fertilizantes agrícola (MINGHINI, 2007). Estes efluentes são caracterizados por conterem uma porcentagem elevada de matéria orgânica biodegradável, que se apresentam em suspensão e/ou na forma coloidal, podendo ser gorduras e proteínas (KOBYA; SENTURK; BAYRAMOGLU, 2006; BEUX, 2005; JOHNS, 1995), sendo, portanto fundamental o tratamento prévio antes de serem lançados ao meio ambiente ou para outros fins (KOBYA; SENTURK; BAYRAMOGLU, 2006; SALMINEN; RINTALA, 2002).

De acordo com a Instrução Normativa nº 7, de 12 de abril de 2016 (BRASIL, 2016), os substratos industrializados, os limites máximos de microrganismos e parasitas aceitáveis são os mesmos para substratos para plantas, para fertilizantes orgânicos e para condicionadores de solo (Tabela II).

Tabela II: Limites máximos de microrganismos e parasitas admitidos em: substrato para plantas, fertilizantes orgânicos, e condicionadores de solo.

Contaminantes	Substratos Para Plantas	Fertilizantes Orgânicos e Condicionadores de Solo
Coliformes termotolerantes	1.000,00 nº mais provável / g de matéria seca	1.000,00 nº mais provável / g de matéria seca
Ovos viáveis de helmintos	1,00 nº / 4 g de sólidos totais	1,00 nº / 4 g de sólidos totais
Salmonella sp	Ausência em 10 g de matéria seca	Ausência em 10 g de matéria seca

Fonte: Anexo 4 IN SDA nº 7, de 12/04/2016 (BRASIL, 2016).

O lodo orgânico de curtume que apresenta sólidos sedimentáveis (lodo não tratado), quando usado como fertilizante, leva um aumento da atividade microbiana do solo. Sendo o lodo não tratado, considerado um resíduo fonte de carbono e energia, é utilizado pelos microrganismos, que por consequencia promove o aumento da atividade biológica e posteriormente a liberação de CO_2 (PASSIANOTO *et al*., 2001). Para a atividade microbiana se faz necessário a disponibilidade de nutrientes que são essencial para o crescimento e outras atividades biológicos dos microrganismos, tais como: nitrogênio, carbono e fósforo (FORESTI *et al.*, 1999). Estes componentes estando presentes no lodo orgânico, justifica o desenvolvimento de microrganismos pois contêm nutrientes que ajuda no crescimento dos mesmos.

Uma das formas de utilizar produtos como os resíduos proveniente de alimentos como a carne, contaminados com microrganismos, é pela submissão destes produtos a processos capazes de inativar os microrganismos (MAÑAS; PAGÁN, 2005). Alguns trabalhos mostram que a irradiação das micro-ondas é umas das abordagens mais moderna para o processo de esterilização e inativação microbiana na indústria de alimentos, onde o calor e o campo elétrico gerado pelas ondas eletro magnéticas, que são responsáveis pela alteração da estrutura secundária e terciária das proteínas dos microrganismos (BANIK; BANDYOPADHYAY; GANGULY, 2003). Aziz e colaboradores (2002) descrevem as micro-ondas como sendo uma solução para reduzir a carga microbiana oriundos de produtos alimenticios. Passianoto e coloboradores (2001) mostram a eficácia dos micro-ondas na inativação bacteriana em lodo de cortume. Farkas e Mohancsi-Farkas (2011) ressaltam que a irradiação é umas das técnicas citadas para inativação microbiana,

sendo uma alternativa às outras metodologias utilizadas como a radiação gama para melhorar a qualidade higiênica.

Os microrganismos que causam patogenicidade ao homem, principalmente aqueles que se encontram em carcaças e vísceras dos animais (*Salmonella* sp, *Staphylococcus* sp. e *Clostridium* sp e *Campylobacter*) assim como os orindos de fezes (*Escherichia coli*), são susceptíveis ao aumento da temperatura, onde a compostagem destes resíduos é capaz de elimina-los (ORRICO JÚNIOR; ORRICO; LUCAS JÚNIOR, 2010). Nos efluentes, também ocorre a presença de microrganismos com elevado potencial patogênico, como: *Salmonella* sp.; *Staphylococcus* sp.; e *Clostridium* sp, principalmente os efluentes que contém carcaças de animais abatidos (SALMINEN; RINTALA, 2002).

A secagem a uma temperatura de até 250ºC em secadores contínuos, cilíndrico de contra-corrente (também denominado de contra-fluxo) não elimina totalmente os microrganismos presentes no lodo obtido no tratamento de resíduos agroindustriais, ocorrendo uma redução de 1,83 UFC mL^{-1} (Unidade Formadora de Colonia por diluição centesimal) para 1,50 UFC mL^{-1} em relação a mesófilos e de 2,83 UFC mL^{-1} para 2,00 UFC mL^{-1} em relação a termófilos (FERNANDES *et al.*, 2016). Entretanto, o tratamento em micro-ondas de cavidade rotativa Tecnologia ONDATEC® a 220ºC, elimina a totalidade de microrganismos presentes no lodo orgânico de abatedouro avícola (BUCEK *et al.*, 2019).

1.4 PROCESSOS DE SECAGEM DE LODO ORGÂNICO

No levantamento bibliográfico realizado, poucos artigos científicos específicos em resíduos aviários foram obtidos, assim como a secagem do lodo orgânico.

1.4.1 Forno Micro-ondas

O primeiro cientista a produzir ondas eletromagnéticas foi o pesquisador Hertz no ano de 1988 e a descoberta destas ondas foi realizada pelo pesquisador Faraday em 1931 (SMIT, 1987). Fortuny e colaboradores (2008) descrevem o interesse industrial pelas micro-ondas tem aumentado ano a ano, juntamente com a necessidade de obtenção de processos rápidos de secagem e equipamentos mais compactos, onde várias aplicações estão sendo elaboradas com

base em aproveitamentos dos efeitos térmicos causados durantes a irradiação. Porém o uso dos processos tecnológicos que envolve as micro-ondas, ainda é pouco utilizado devido a falta da existência de empresas especializadas para a elaboração de equipamentos que promovam irradiação por micro-ondas para aplicação industriais (FORTUNY *et al.*, 2008).

É descrito na literatura (SILVA JUNIOR, 2018) o tratamento de resíduos de abatedouro avícola, em forno micro-ondas com tecnologia ONDATEC, que permitiu a obtenção de composto orgânico contendo macronutrientes primários NPK (5,56 - 7,32%) e secundários CaMgS (4,92 - 5,95%) dentro dos parâmetros estipulado na legislação brasileira (BRASIL, 2004; BRASIL, 2009).

1.4.2 Secador Térmico a Gás

O EcoDryer®, secador térmico utilizando Gás LP (mistura de hidrocarbonetos propano e butano) é empregado em abatedouro avícola (RICA ALIMENTOS, 2016) para tratamento do lodo orgânico e dos resíduos como gordura e sangue (obtidos antes do descarte no efluente). A secagem do lodo até umidade residual de 20% reduz o volume do descarte deste material, necessitando assim uma menor área para destinação final (SUPERGASBRAS, 2013). A secagem da gordura é realizada até umidade residual de 5%, permitindo que que a gordura seca possa ser reutilizada como combustível nas caldeiras da indústria por apresentar um poder calorífico elevado (FRANCO, 2016). Ressalta-se que o resíduo gordura é um dos componentes do lodo orgânico obtido no início do processamento do efluente antes de enviados para a lagoa de decantação.

1.4.3 Secadores Contínuos

Em Santa Catarina, Brasil, de acordo com Fernandes e colaboradores (2016), os secadores de uso contínuo, cilíndrico em contracorrente com temperatura no interior do cilindro de até 250ºC, vêm sendo utilizados para a secagem de lodo obtido no tratamento de resíduos agroindustriais, juntamente com casca de arroz e serragem, gerando compostos maturados com umidade de 51,69%, com diminuição de 0,5% de carbono orgânico, com leve diminuição na carga microbiana, e pH 8,4-8,8 não alterado, indicando maturidade do produto. No processo ocorre a volatização da água e de compostos de baixo peso molecular (substâncias voláteis), que são

removidos pelo ar quente, que passa pelo material em processamento, eliminando o excesso de umidade. No entanto nessa aplicação outras características no lodo podem ser modificadas e por isso essa aplicação ainda é limitada (FERNANDES *et al.*, 2016).

1.5 TRANSFERÊNCIA DE CALOR PELAS MICRO-ONDAS

Kern, (1999) define calor como sendo "a energia transferida de um corpo para outro devido a diferença de temperatura entre duas partes", ou seja: "o calor específico é a quantidade de calor que uma grama precisa receber ou ceder para que sua temperatura altere em 1°C". Cada substância possui um valor específico de calor, que geralmente é expresso em J/kg.K. Quanto mais elevado o calor específico de um material, mais elevado será a quantidade de calor fornecida ou retirada para que ocorra a variação das temperaturas (INCROPERA, 2008).

A transferência de calor pode se dar de três formas: convecção, condução, e radiação (KERN, 1999). A condução térmica é a transferência pelo contato entre dois corpos que apresentem diferentes temperaturas, dessa forma o corpo que tem maior temperatura agita as moléculas do corpo de menor temperatura transmitindo energia em forma de calor até que os corpos atinjam o equilíbrio térmico (ORDENES; GUTHS; LAMBERTS, 2010). A convecção é o movimento das moléculas atribuído a uma força externa, isso pode ser provocado devido a diferença de densidade ou pressão, podendo ainda ser uma combinação entre ambos (KERN, 1999). A energia transmitida de um corpo para outro é a transferência de calor por radiação, porém, é sabido que este processo é semelhante ao que ocorre pelas ondas eletromagnéticas, onde não é necessário que o material a ser processado entre em contato com as ondas eletromagnéticas, como ocorre na transferência de calor pela energia solar, onde ocorre a transmissão do calor do sol pelas ondas eletromagnéticas (DANTAS, 20-- [SI]).

A água e os sais contidos nos materiais são importantes no processamento pelas micro-ondas, pois apresentam uma forte interação com esta energia não ionizante. Portanto, as propriedades dielétricas são dependentes das concentrações dos ingredientes que se encontram no material que será processado (RICHARDSON, 2001), como ocorre com o lodo orgânico que apresenta em sua composição uma mistura composta de vários nutrientes inclusive a água. Alguns trabalhos mostram que a irradiação não ionizante das micro-ondas gera calor e o campo elétrico produzido pelas ondas, altera a estrutura do composto (BANIK; BANDYOPADHYAY; GANGULY, 2003) e altera a eliminação da água presente. De acordo com Fortuny e

colaboradores (2008), “a irradiação pelas micro-ondas se dá na alteração de propriedades termodinâmicas de sistemas reacionais”. A interação do micro-ondas com os componentes que não sejam íons e dipolos, são desprezíveis, apresentando pequenos valores de permissividade (RICHARDSON, 2001).

Os fornos de micro-ondas, são equipamentos utilizados em tratamentos térmicos. A fenomenologia da geração de micro-ondas é importante para entender a aplicação em processos industriais (RICHARDSON, 2001). Dentro do forno é colocado o material a ser processado e assim submetido a um campo elétrico, esse campo atua no dipolo elétrico da molécula do material em tratamento, e que por consequência, é alinhado com o campo, e, quando retirado do campo, as moléculas diminuem a sua vibração (MIZUNO *et al*., 2004). É através da dissipação da energia eletromagnética, que o aquecimento ocorre.

A radiação é a propagação de energia pelo espaço, e o que diferencia uma radiação de outra é o comprimento de onda, onde, o menor comprimento de onda é mais letal para os microrganismos. O tratamento de materiais em fornos de micro-ondas é designado como processos limpos, gerando baixa poluição (FORTUNY *et al.*,2008). A irradiação pelas micro-ondas é muito utilizada na indústria na conservação de produtos alimentícios (SATIN, 2002), como no tratamento de resíduos (SILVA JUNIOR, 2018). A ONDATEC vem desenvolvendo a avaliação de secagem e pirolise de diferentes resíduos dentre eles os lodos de oriundos de diversas indústrias, assim como o lodo de esgoto (trabalhos sob sigilo empresarial).

A fonte das micro-ondas, para aplicações domésticas e industriais, é gerada pelos magnetrons (RICHARDSON, 2001; MIZUNO *et al*., 2004), onde ocorre a conversão da energia elétrica em micro-ondas, pelo fato de existir uma diferença de potencial entre cátodo e ânodo, que faz com que ocorra aceleração dos elétrons em um campo magnético, que consequentemente produzem as ondas eletromagnéticas, em temperaturas e períodos de tempo pré-definidos (MIZUNO *et al*., 2004). Como descreve Richardson (2001), as micro-ondas são geradas no forno tanto doméstico como industrial, a partir de magnetron, que consiste em um tubo a vácuo contendo um catodo de alto potencial energético que emite elétrons sendo quebrado por um anodo estruturado e levado ao campo elétrico, onde os elétrons são acelerados e desviados por um campo magnético ortogonal levando a um movimento em espiral. A relação campo elétrico gerado e o magnetron usado. A potência emitida pelo magnetron pode ser controlada pela corrente no tubo e na intensidade do campo magnético, onde a potência máxima é geralmente limitada pela temperatura do ânodo. Um magnetron operando com freqüência 1,45 GHz gera

uma potência máxima de aproximadamente 1,5 kW (resfriado por ar/ventiladores) e 25,0 kW (resfriado por água, passando internamente no aparelho). A eficiência de um magnetron moderno operando a 2,45 GHz é de aproximadamente 70%, contudo, nas aplicações de micro-ondas para aquecimento, com menores perdas devido sua eficácia (RICHARDSON, 2001).

A irradiação pelas micro-ondas permite um rápido aquecimento de forma seletiva de materiais, isso devido a interação do campo elétrico da irradiação incidente com a matéria, promovendo a polarização (reorganização das cargas das moléculas polares) e dos íons livres, onde essa movimentação geralmente produz calor, de acordo com Fortuny e colaboradores (2008). A fricção entre as cargas que se encontram em movimento e as moléculas do material, produz a liberação de energia na forma de calor, e como consequencia, produz o aumento da temperatura. Onde há um campo elétrico existe o alinhamento dos dipolos e das cargas livres, na direção do campo, e este deslocamento também é sofre influencia da agitação térmica do sistema (FORTUNY *et al.*, 2008).

A forma e o estado físico do material a ser tratado, define a forma de deslocamento das cargas e assim como a sua capacidade de transformação da energia das micro-ondas em calor. No aquecimento dielétrico, são penetrados no material as radiações, fazendo com que a transferência de calor aconteça do o meio do material até a parte externa, e sendo que este tipo de transferência provoca aquecimento do material e um aumento significante da temperatura (FORTUNY *et al.*, 2008).

Segundo Kern (1999), no processamento de uma matéria (também denominado de corpo negro) pelas micro-ondas, essa matéria consegue irradiar energia para um revestimento fechado que absorve toda energia que for irradiada sobre ele (INCROPERA, 2008). Sempre que é observado uma diferença de temperatura em um ou dois sistemas em contato e com temperaturas distintas, ocorre a transferência de calor, e esse processo de transferência pode ser avaliado diretamente, e mensuração pode ser determinada para os efeitos causados. Sempre que existir um gradiente de temperatura, haverá uma transferência de energia, sendo que o processo de como esta energia é transportada, chama-se transferência de calor, que é a entidade em trânsito neste processo, porém, não pode ser medida diretamente mas, apenas seus efeitos são possíveis de mensuração (KERN, 1999).

Kreith e colaboradores (2003) mostram que a representação da transmissão de calor por radiação de acordo com a Equação (1). Se um corpo negro (irradiador perfeito) irradiar para um

envoltório fechado, que absorve toda energia sobre ele irradiada, ou seja, também é negro, a taxa de transferência de calor irradiado é definida pela Equação (1), e mostra que em um corpo negro em temperatura superior a zero, qualquer superfície irradia calor em taxa proporcional à quarta potência da temperatura absoluta (KREITH; BOHN; TASKS, 2003).

$$Q" = £.\ \sigma\ (Ts^4) \quad e \quad Q = Q".A \tag{1}$$

Onde:

Q" = Fluxo térmico (W/m²);

Q = Taxa de transferência de calor por radiação (W);

Ts = Temperatura da superfície (ºk);

$\sigma = 5{,}67\times10^{-8}$ (W/m^2. k^2) constante de Stefan-Boltzmann

$£$ = emissividade da superfície emissora ($0<£\leq 1$)

A = área da superfície (cm ou m).

Utilizando o cálculo de calorimetria, obtém-se o calor específico que refere-se a quantidade de calor necessária, para que o equipamento de secagem elimine toda água do lodo, ou seja, para que cada grama de lodo varie 1 grau Celsius (SILVA *et al*., 2003).

O cálculo da potência térmica é obtido pela Equação (2) sendo a quantidade de calor dividida pelo tempo que o material a ser processado permaneceu no equipamento de secagem.

$$P = \frac{Q}{\Delta\theta} \tag{2}$$

Onde:

P: potência (W)

Q: quantidade de calor (cal ou J)

Δθ: variação de tempo (s ou min)

A radiação se comporta semelhante às ondas eletromagnéticas (BARROSA, 2004). De acordo com Kreith e colaboradores (2003) descrevem que a solução de muitos problemas de

engenharia relacionados à transferência de calor, encontra-se na combinação com a radiação. Para condução de calor, a Equação (3) possibilita o cálculo da taxa de calor.

$$Q = K_r \, A(T_s - \text{Tviz}) \qquad (3)$$

Onde:

Q = Taxa de transferência de calor por radiação (W);

Kr = condutividade térmica;

A = área (cm ou m)

Ts = Temperatura da superfície (^{o}k);

Tviz = Temperatura da vizinhança (^{o}k);

É importante salientar que, na realidade, os corpos reais não atendem às propriedades dos corpos negros, por isso, têm valores menores quanto à taxa de radiação. Barrosa (2004) enfatiza que é importante considerar influências externas de trocas de calor por radiações na contribuição de parcelas de calor resultante.

A lei de Wien (CAVALCANTE; HAAG, 2005) mostra o comprimento de onda em emissão máxima de radiação eletromagnética, de um corpo negro, e a sua temperatura. Definine-se o comprimento de onda pela Equação (4).

$$\lambda\text{max} = \frac{b}{T} \qquad (4)$$

Onde:

λmax = é o comprimento de onda (em metros) onde a intensidade da radiação eletromagnética é a máxima;

T = é a temperatura do corpo em kelvin (^{o}K);

b = é a constante de proporcionalidade, chamada constante de dispersão de Wien, em m.K (metro x Kelvin)

O calor sensível é quando um corpo recebe ou fornece calor gerado variações de temperatura, sem que aconteça mudança no estado de agregações das moléculas (POTTER; SCOTT, 2007), e pode ser calculado pela Equação (5).

$$\boldsymbol{q1} = m \,.\, cp.\, \Delta t \qquad (5)$$

Onde:

q1 = calor sensível (kJ)
m = massa do lodo úmido (kg)
cp = calor especifico ($\frac{kJ}{kg°C}$)
Δt = variação de temperatura °C.

1.5.1 Condutividade Térmica

O uso das micro-ondas para processar amostras iniciou-se em torno de 1975 em fornos micro-ondas domésticos com resultados promissores onde o aquecimento pelas micro-ondas foi destacado como vantajoso, mas mesmo assim os estudos com as micro-ondas foi pouco estudado (NOGUEIRA *et al.*, 2006). O aquecimento pelas micro-ondas dependendo do tempo de exposição, podem causar vários efeitos biológicos e esses efeitos acontecem pois a capacidade do material em aquecer corresponde ao máximo do material a ser tratado, para converter a energia eletromagnética em energia térmica. Esse fator é conhecido como coeficiente de perda térmica (FARID; TAHER, 2001; BANIK; BANDYOPADHYAY; GANGULY, 2003).

Como descrito na literatura, o entendimento dos efeitos produzidos pelas micro-ondas depende das propriedades dielétricas conhecidas dos materiais a serem tratados, e do uso de sensores para acompanhar a temperatura, e a conversão da energia micro-ondas em calor é eficiente e são distintas para cada material (FORTUNY *et al.*, 2008). A transferência de calor que ocorre dentro de um forno micro-ondas consiste na transmissão de calor por radiação pelas ondas eletromagnéticas. A taxa de transferência de calor das micro-ondas para o lodo orgânico proveniente de abatedouro avícola pode ser calculado com o uso da Equação (5), de acordo com Kreith e colaboradores (2003).

1.5.2 Radiação

Radiação é a saída e propagação de energia por meio de partículas ou podemos dizer que é a propagação de ondas eletromagnéticas em movimento. Conforme sua capacidade de interagir com a matéria, as radiações podem ser classificadas em: ionizantes; não ionizantes; e eletromagnéticas. Radiações Ionizantes apresentam energia suficiente para liberar elétrons de um átomo deixando-o carregado. Já a radiação não ionizante, como por exemplo as ondas de rádio, luz visível, ou radiação ultravioleta, que não tem energia suficiente para arrancar os elétrons (SMIT, 1987), como as micro-ondas. As Micro-ondas são então as radiações produzidas pelos sistemas eletrônicos, à partir dos osciladores com freqüências mais elevadas que as ondas de rádio. As Micro-ondas são utilizadas em fornos domésticos (convencionais) para aquecer alimentos e são capazes de transportar sinais de TV e/ou sinais de comunicações eletrônicas (SMIT, 1987).

A análise da quantidade de calor que o micro-ondas transfere ao lodo, é demonstrado na Equação (6), onde o lodo é o radiador, e o micro-ondas é o emissor (BARROSA, 2004).

$$\frac{Q}{\Delta T} = K.A.\frac{\Delta\theta}{L} \qquad (6)$$

Onde:

Q: quantidade de calor (cal ou J)
Δt: variação do tempo (s ou min ou h)
K: coeficiente de condutibilidade térmica do material
A: área da superfície (cm ou m)
Δθ: variação da temperatura (°C ou °K)
L: espessura do material (mm ou cm ou m)

CAPÍTULO 2 - MATERIAL E MÉTODOS

As metodologias usadas neste trabalho foram para avaliar as caracteríscas do lodo orgânico proveniente do abatedouro avícola antes e após tratamento de secagem e processamento em micro-ondas, visando obter um produto final com umidade, carga microbiana, metais pesados e nutrientes avaliados.

2.1 LODO ORGÂNICO

2.1.1 Obtenção

O lodo orgânico utilizado neste trabalho é o resíduo oriundo do fundo da lagoa de decantação do efluente de abatedouro avícola do Triângulo Mineiro (identificação da empresa preservada), que se encontra depositado ao lado da lagoa de decantação. O lodo foi coletado aleatoriamente e transportado para a Empresa ONDATEC em bombonas de 50 L, de polietileno de alta densidade e alto peso molecular - PEAD (Figura 5). Na ONDATEC as bombonas contendo o resíduo lodo, permaneceram tampadas por 24h, até o início do experimento. Este resíduo foi denominado de: "*lodo orgânico não tratado*".

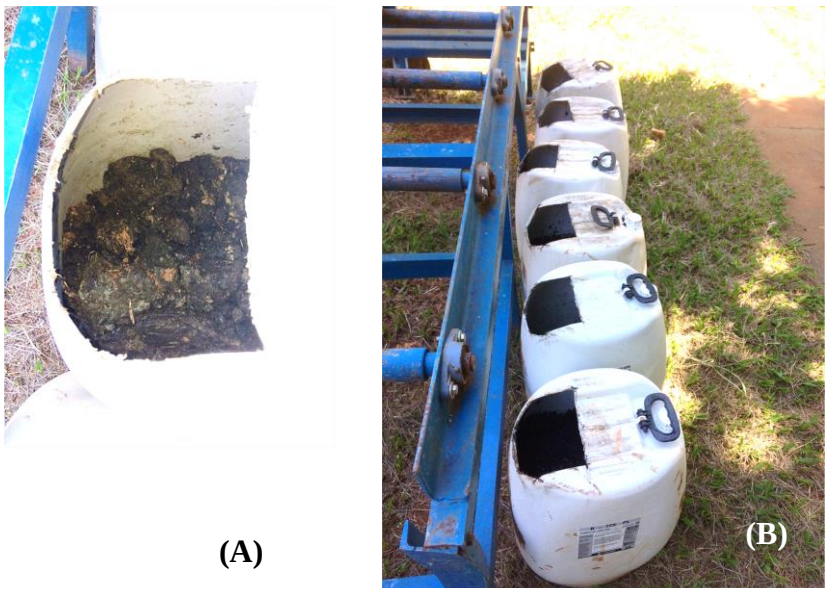


Figura 5: Recebimento de lodo orgânico não tratado.
Fonte: (**A)** da autora M. C. JERÔNIMO (2019); (**B)** (SILVA JUNIOR, 2018).

Foram enviados 10 bombonas contendo lodo que foram coletadas em diferentes pontos da lagoa de decantação, e denominadas de lote, cada bombona recebida (LB – Lote Bombona) e designadas de: LB1, LB2, LB3, LB4, LB5, LB6, LB7, LB8, LB9 e LB10.

2.1.2 Pré-tratamento

O tratamento prévio para redução da umidade e homogeneização dos lodos contidos nos nas bombonas (LB) recebidos LB1-LB10, foi realizado de acordo com a metodologia descrita por Silva Junior (2018), que consiste na exposição ao sol do "*lodo orgânico não tratado*", sobre placas de aço galvanizado, durante no mínimo 4 dias, coberto com a placa metálica em tempo nublado, sob chuva e à noite (Figura 6). A espessura da camada de lodo depositada sobre a placa foi cerca de 10 cm.



Figura 6: Tratamento prévio do lodo orgânico não tratado: a céu a aberto (A); entre placas de metal (B).
Fonte: (SILVA JUNIOR, 2018).

Durante o tratamento prévio o lodo foi revolvido com auxílio de pá, duas vezes ao dia, e homogeneizado. O lodo submetido a tratamento prévio, foi denominado de TP. Após o tratamento prévio o lodo TP, foi encaminhado para processamento em forno micro-ondas, sendo submetidos ao tratamento micro-ondas até 100ºC (T100) e ao tratamento micro-ondas até 540ºC (T540).

2.2 EQUIPAMENTO UTILIZADO

2.2.1 Características do Forno Micro-Ondas

O equipamento utilizadado foi um forno micro-ondas em escala piloto (Figura 7), de Tecnologia ONDATEC® (ONDATEC S.A – Tecnologia Industrial em Micro-ondas – Sociedade Anônima, Uberaba), com um reator de cavidade rotativa sextavada e cesto revestido com tela e papel resistente a 600ºC; rotação ajustável (inversor de frequência 30-60 Hz); capacidade 650 L; reator e sistema de separação de gases de exaustão; potência 20 kWh; tensão de alimentação 220 V 60 Hz; 12 válvulas/magnetrons (controle manual e individual), com sistema de saída de gases, e sistema de armazenamento de bio-óleo, funcionamento em batelada.

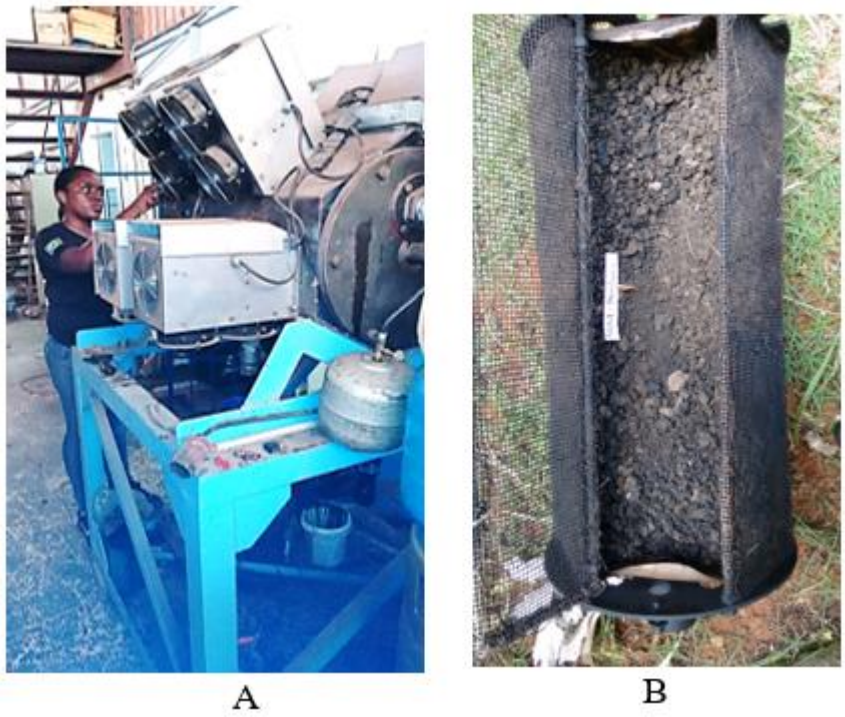


Figura 7: Forno micro-ondas Ondatec®: estrutura do forno (A); cesto giratório (B).
Fonte: Empresa ONDATEC Tecnologia Industrial em Micro-ondas SA.

2.2.2 Tratamento T100 - Secagem

O tratamento do lodo a 100ºC em Forno Micro-ondas (T100), foi realizado para obtenção do lodo seco sem umidade. O lodo tratado previamente (TP) foi inserido no cesto giratório (amostra de 25 Kg) e posteriormente introduzido na cavidade giratória, contendo o termômetro

Termopar ALUTAL®. O processo de aquecimento pelas micro-ondas se deu até 100ºC, com recolhimento da água através do sistema de drenagem do forno. O lodo permaneceu nestas condições até a eliminação total da agua. As massas da água e do lodo seco (T100) foram quantificados por gravimetria.

2.2.3 Tratamento T504

Tratamento em Forno Micro-ondas: O lodo tratado previamente (TP) foi inserido no cesto giratório (amostra de 25 Kg) e posteriormente introduzido na cavidade giratória, contendo o termômetro Termopar ALUTAL®. O processo de aquecimento pelas micro-ondas se deu até 100ºC com a eliminação total da agua, seguido de aquecimento até 504º C, com separação dos gases condensados e gases não condensados. As massas da água, do lodo processado (T504) e do gás condensado foram quantificados por pesagem. A determinação da massa do gás não condesado foi determinado por estimativa.

2.3 ANÁLISES REALIZADAS

2.3.1 Aspecto Visual

Os 10 lotes de lodo orgânico provenientes do da lagoa de decantação do efluente de abatedouro avícola (LB1 a LB10) fora analisadas visualmente quanto as características: consitencia, cor, presença de matérias estranhas.

2.3.2 Umidade e Substâncias Voláteis Residual

A determinação do teor residual de umidade e substâncias voláteis foi realizada por gravimetria. O controle foi efetuado nos lotes de lodo orgânico, após seu tratamento prévio e após processamento pelas micro-ondas (seco e tratado). O método usado foi por gravimetria a temperatura de 100 - 105°C em estufa de esterilização (BRASIL, 2019) até massa constante (GHELFI FILHO, 1988; BORGES; SELLIN; MEDEIROS, 2008; BRASIL, 2010). A determinação de umidade e substâncias voláteis (USV) do lodo proveniente do abatedouro e após tratamento prévio, foram realizadas em triplicata (n=3).

Em seguida foi definido “in loco” a amostragem do lodo após tratamento prévio, a ser realizada para análise, em função de como se apresentava a distribuição do lodo, foram recolhidas sobre a placa metálica definido “in loco”, sendo considerado representativo nove amostragem em diferentes pontos para o ensaio proposto. A distribuição dos pontos amostrados estão representados na Figura 8.



Figura 8: Pontos de mostragem (lodo a “céu aberto”) para análise após tratamento prévio do lodo.
Fonte: (SILVA JUNIOR, 2018) modificado

O cálculo da umidade foi determinado pela diferença entre a massa do lodo proveniente do abatedouro e a massa do lodo desidratado até massa constante. O cálculo da umidade e substâncias voláteis pode se expresso de dois modos: umidade e substâncias voláteis (USV) em base úmida (bu) expresso em %, e USV em base seca (bs) que é adimensional. Usa-se a Equação (7) para determinar o teor (%) de água e substâncias voláteis em base úmida, e a Equação modificada (8) para determinar a massa (adimensional) de água e substâncias voláteis em base seca (BRASIL, 2010 modificada), a partir da média dos dados obtidos (n=3).

$$USV_{\text{bu}} = \frac{(\text{mLA}) - (\text{mLS})}{\text{mLA}} x100 \quad (7)$$

$$USV_{\text{bs}} = \frac{(\text{mLA}) - (\text{mLS})}{\text{mLS}} \quad (8)$$

Onde:

USV_{bu} = umidade e substâncias voláteis em base úmida (% m/m);
USV_{bs} = umidade e substâncias voláteis em base seca (adimensional);
mLA = massa do lodo do abatedouro (g);
mLS = massa do lodo seco (g).

2.3.3 pH

Para determinação do pH foi utilizado água isenta de microrganismos, para amenizar a proliferação de bactérias durante o processamento da amostra a ser analisada.

"***Água Purificada***" utilizada no ensaio foi obtida sem ions e sem bactérias, pela osmose reversa GEHAKA® modelo OS-10, contendo filtro de carbono e filtro deionizados, seguindo de filtração microbiológica de porosidade 0,22 micrometros (µm) em aparelho GEHAKA® (Figura 9), seguida de uma 2ª filtração em aparelho Milli-Q® em filtro 0,22 µm (EASYpure II – "ultrapure water system", BL Barnstead®), vide Figura 10.



(A) **(B)**

Figura 9: Obtenção de agua isenta de microrganismo pelo purificador osmose reversa GEHAKA® (A), seguida de filtração em filtro de 0,22 µm GEHAKA® (B).

Fonte: da autora M. C. JERÔNIMO (2019).



Figura 10: Aparelho Milli-Q® de filtração em filtro de 0,22 µm (EASYpure II, BL Barnstead®).
Fonte: da autora M. C. JERÔNIMO (2019)

A determinação do pH foi realizada na temperatura ambiente com uso de potenciômetro que registra a diferença de potencial entre dois eletrodos imersos na solução tampão previamente preparada (BRASIL, 2010). O equipamento foi previamente calibrado com solução tampão ácido, tampão alcalino e tampão neutro. O preparo das amostras para análise foi realizado na proporção 1:2,5 (v/v): lodo-água, de acordo com a metodologia proposta por Oliveira e colaboradores (2002), seguido de agitação por 5 min em agitador magnético a temperatura ambiente. A água utilizada no preparo das soluções analisadas foi recentemente purificada de acordo com o descrito acima (*"Água Purificada: obtenção"*).

2.3.4 Metais Pesados e Nutrientes

***Preparo da Amostra*:** a moagem as amostras (lodo não tratado; lodo após tratamento prévio; lodo após secagem pelas micro-ondas; e lodo após pirolise pelas micro-ondas) foi realizada em triturador "cutter" e peineradas em peneiras Tyler® 8 (2,360 mm), 10 (2,000 mm), 20 (0,850 mm) e 40 (0,425 mm), vide Figura 11.

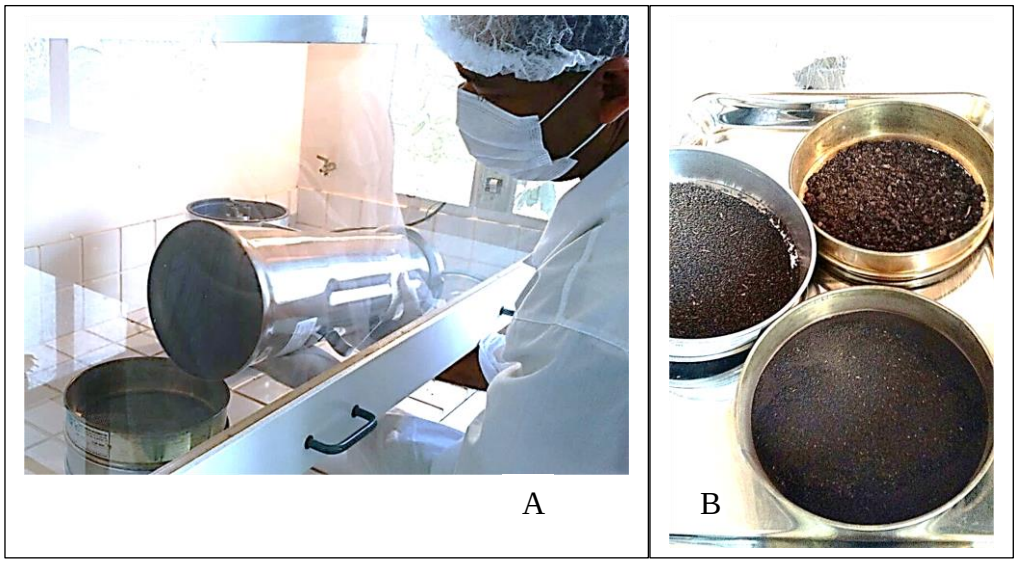


Figura 11 – Lodo seco e tratado: moagem no triturador "cutter" (A), seguido de peneiramento (B).
Fonte: (SIVA JUNIOR., 2018).

O triturador "cutter" apresenta recipiente de 10 L em inox (METVISA® Metalúrgica Visa LTDA), onde o material é colocado para triturar, cujas as dimensões são: altura de 47,0 cm; diâmetro interno da base de 15,5 cm; diâmetro interno de topo de 21,0 cm; 4 chicanas à partir da base de 26 cm de altura; hélice com 6 pás alternadas (com superfície cortante) de 4 cm de comprimento, sendo 2 pás dispostas no plano inferior ; potência de 368 W; rotação de 3450 rpm (BORGES *et al.*, 2017). As amostras de granulometria entre 0,425 mm e 0,850 mm, foram encaminhadas para análise de metais pesados e nutrientes, e as amostras de granulometria < 0,425 mm foram encaminhadas para análise de densidade.

Quantificação de Metais Pesados e Nutrientes: as análises foram realizadas de acordo com os métodos descritos nas normas do MAPA (BRASIL, 2014), pela Empresa Labfert Análises, localizada em Uberaba-MG, que possui credenciamento pelos respectivos certificados de qualidade Programas Interlaboratoriais), sendo eles:

- ✓ **ANDA** (Associação Nacional para Difusão do Adubo), no setor de fertilizantes;
- ✓ **IAC** (Instituto Agronômico de Campinas), no setor de solos;
- ✓ **ESALQ/USP** (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz), no setor de tecido foliar;
- ✓ **Certificado ISO 9001:2015**, Sistema de Gestão da Qualidade - Empresa Labfert (Anexo).

2.3.5 Densidade Real

Foi determinado a densidade real das amostras de quatro tratamentos: 1. lodo não tratado; 2. lodo após tratamento prévio; 3. lodo após secagem pelas micro-ondas; e 4. lodo após pirolise pelas micro-ondas. As amostra foram desidratadas em estufa de esterilização a 100-105º C, até massa constante, como descrito no item 2.3 – Determinação da umidade e substâncias voláteis). Em seguida a amostra desidratada foi triturada até granulometria < 0,425 mm (item 2.8 - Determinação de metal pesado e nutrientes / *Preparo da Amostra*). Foi utilizado a metodologia empregado pelo Instituto Agronômico de Campinas para determinação da densidade real do solo, como descrito por Camargo e colaboradores (2009). A amostra de 20 g de lodo foi transferido para balão volumétrico aferido de 50 ml, e acrescido 25 ml de álcool etílico 99,8º GL, seguido de agitação e repouso por cerca de 16 h. Em seguida foi adicionado álcool etílico, com auxílio de bureta, até completar o volume do balão. Para o cálculo da densidade (CAMARGO *et al.*, 2009) foi utilizado a Equação (15).

$$DR = \frac{ms}{(25 - vEtOH)} \qquad (15)$$

Onde:

DR: densidade real (g ou kg/mL ou L)
ms: massa da amostra seca (g ou kg)
vEtOH: volume de etanol gasto (mL ou L)

2.3.6 Carga Microbiana

Coleta do lodo para análise: a análise microbiológica foi realizada em amostra de lodo antes do tratamento (grau de contaminação microbiológica inicial - branco positivo) e após tratamento pelas micro-ondas. Foram realizadas as coletas das amostras contidas dentro do cesto de contenção do material, ainda dentro da cavidade giratória no forno micro-ondas ou fora dela (Figura 12). A análise microbiana das amostras foi realizada no mesmo dia da coleta, após serem encaminhadas ao laboratório em torno de 50 g de cada amostra, em elermyers esterelizados e sob refrigeração (+4ºC).



Figura 12 – Coleta do lodo fora do forno, pós tratamento pelas micro-ondas, para análise microbiana.
Fonte: da autora M. C. JERÔNIMO (2019).

Leitura da Absorbância: os ensaios foram realizados em capela de fluxo laminar e estufa incubadora (BOD) e espectofotômetro. A leitura da absorção em espectrofotômetro segundo a proposta de Vieira e Fernandes (2012) foi realizada na solução de 1 g de amostra representativa em 9 mL de caldo *Brain Health Infusion Broth* (BHI) M210 IMEDIA®, seguido de incubação em BOD a 37ºC. O caldo foi preparado com água purificada (descrito no item 2.4 – Determinação do pH: "*água purificada*"), e autoclavado. Após 24 h de incubação foram realizadas as leituras da absorbância em diferentes comprimentos de ondas e obtidas as respostas de absorbância seguido de avaliação dos resultados de quantificação de microrganismos. O teste foi feito em triplicada (n=3) seguido de análise das variâncias. Antes da leitura da absorbância o espctrofotômetro utilizado T60U Spectrometer® (PG Instruments Ltd) foi calibrado com solução

BHI utilizado na incubação, zerando o equipamento a leitura de absorção nos diferentes comprimentos de onda.

Coloração de Gram: No lodo orgânico previamente tratado foi realizado a análise para verificar a presença do tipo de bactéria pela análise de sua morfologia (bacilos e/ou coccos) utilizando a Técnica de Gram (UEMURA, 2018). Na amostra incubada em BHI M210 IMEDIA®, a 37ºC por 24h, foi realizado o esfregaço em lâmina, e acrescido o corante primário cristal violeta DINÂMICA® por 1min, seguido de lavagem do excesso de corante em água corrente, e acrescido de fixador lugol iodado (preparado "in loco") por 1min. A coloração com cristal violeta identifica a presença de bactérias Gram (+). Posteriormente a lâmina é novamente lavada em água corrente, e posteriormente com álcool 99,8ºGL:acetona (4:1 v/v) por 15seg, seguido de outra lavagem em água corrente. É realizado na lâmina uma segunda coloração com corante de Safranina DINÂMICA® por 30 s, seguido de lavagem em água corrente e secagem. A análise é realizada em microscópio Ken-A-Vision L2000®, com objetiva de 100x e auxílio de óleo de imersão.

2.3.7 Eficiência do Forno Micro-Ondas

Para calcular a eficiência do forno micro-ondas na secagem e processamento do forno micro-ondas utiliza-se a Equação (9) de acordo com Potter e Scott (2007), considerando o calor total recebido, sendo ele: q1 (calor sensível – calor para aquecer o lodo previamente tratado até 100ºC) + q2 (calor para aquecer a água do lodo previamente tratado até 100ºC) + q3 (calor para evaporar água – massa de água evaporada) + q4 (calor necessário para aquecer o lodo seco até 500ºC).

$$\boldsymbol{n} = \frac{\mathrm{qt}}{\mathrm{p}\,.\mathrm{t}} \qquad (9)$$

Onde:

n = Eficiência do forno micro-ondas (adimensiona*l*);
qt = Calor total recebido (q1 + q2 + q3 + q4) (kj);
p = potência (kj/s);
t = tempo (s).

O cálculo da transferência de calor por convecção (POTTER; SCOTT, 2007) é realizado pela Equação (5) adequada, já descrita (item: *1.5 Transferência de calor pelas micro-ondas*). Inserindo na equação a massa do lodo úmido, obtém-se assim o calor específico (Equação (10)). Este cálculo refere-se à quantidade de calor latente, necessária para que o forno micro-ondas elimine toda água do lodo, ou seja, a quantidade de calor necessária para que cada grama de lodo varie 1ºC (SILVA *et al.*, 2003). Segue a Equação (10), que emprega-se a massa do lodo úmido:

$$\boldsymbol{q1} = mu\,.\,cp.\,\Delta t \quad \text{ou} \quad \boldsymbol{q1} = mu\,.\,\frac{kj}{kg°C}.\,\Delta t \qquad (10)$$

Onde:

q1 = Calor sensível (kj)
mu = massa do lodo previamente tratado úmido (kg)
cp = calor especifico ($\frac{kj}{kg°C}$)
Δt = variação de temperatura (°C).

Para calcular o calor necessário para aquecer o lodo previamente tratado até temperatura de vaporização da água a 100ºC, utiliza-se a mesma equação (Equação (10)), porém emprega-se a massa do lodo seco, obtém-se assim a Equação (11).

$$\boldsymbol{q2} = ms\,.\,cp.\,\Delta t \qquad (11)$$

Onde:

q 2 = calor para aquecer a água (kj)
ms = massa do lodo previamente tratado seco (kg)
cp = calor especifico lodo seco($\frac{kj}{kg°C}$)
Δt = variação de temperatura ºC

Para o calcular o calor latente emprega-se a Equação (12). O calor latente é a quantidade de energia, que transferida na forma de calor para uma substância a uma pressão constante, leva a

mudança de fases, e libera massa de água evaporada (massa do lodo úmido - massa do lodo seco (POTTER; SCOTT, 2007).

$$\boldsymbol{q3} = m_{H2O} \,.\, \lambda \qquad (12)$$

Onde:

q3 = calor necessário para evaporar a água (kj)

m_{H2O} = massa de água evaporada do lodo previamente tratado úmido (kg);

λ = calor latente de evaporação ($\frac{kj}{kg°C}$).

O calor necessário para aquecer o lodo até 504ºC, utiliza-se a Equação (13), empregando-se a temperatura de 500ºC (POTTER; SCOTT, 2007). Assim o resultado do calor necessário para o tratamento do lodo (T504) é expresso a 500ºC.

$$\boldsymbol{q4} = m_{vapor} \,.\, cp.\Delta t \qquad (13)$$

Onde:

q4 = calor necessário para aquecer o lodo previamente tratado seco até 500°C (kj);

m_{vapor} = massa do vapor (kg)

cp = calor especifico ($\frac{kj}{kg°C}$);

Δt = variação de temperatura (°C).

Para o cálculo da potencia do forno micro-ondas na secagem e tratamento do lodo e (POTTER; SCOTT, 2007) utiliza-se a Equação (14).

$$\boldsymbol{p} = \text{t} \,.\, \text{I} \qquad (14)$$

Onde:

P = potencia consumida do forno (W).

t = tensão (V);

I = corrente lida x magnéton (A).

2.3.8 Curva de Temperatura na Secagem

Os dados para obtenção da curva de temperatura de secagem foram realizados por um software desenvolvido pela Empresa ONDATEC, acoplado ao termômetro Termopar ALUTAL®, posicionado na parte central do cesto na cavidade rotativa do forno micro-ondas ONDATEC®, em contato com o material a ser tratado. Os dados obtidos pelo software foram transferidos para o programa Microsoft Excel® onde o gráfico da da curva de temperatura de secagem foi gerado.

CAPÍTULO 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos quanto às características físicas do lodo orgânico que se encontra depositado ao lado da lagoa de decantação, oriundo da decantação do efluente de abatedouro avícola, assim como a justificativa da necessidade de realizar um tratamento prévio deste lodo, antes de submete-lo a secagem, inativação microbiana e tratamento pelas micro-ondas, a fim de obter um composto que possa ser utilizado em fertilizante orgânico, de acordo com as normas legais brasileira.

3.1 CARACTERÍSTICAS DO LODO PROVENIENTE DE ABATEDOURO AVÍCOLA

A análise dos 10 lotes de "*lodo orgânico não tratado*" apresentaram diferenças nos aspectos físicos, quanto as características: consitencia, cor, presença de matérias estranhas, umidade e densidade. O que justifica essas diferenças são dois fatores:

- Sua retirada mecanicamente do fundo da lagoa de decantação, que arrasta também terra, gravetos, pedras e pedaços de madeiras ou ramos;

- A permanência do lodo no pátio ao ar livre (em bags ou sobre o chão de terra) até definição da destinação final, contribuindo com a evaporação da água contido no lodo em função do período da exposição a céu aberto e da temperatura. Essa exposição gera no lodo depositado no pátio, diferentes teores de umidade, aspecto (sólido, semi pastoso ou pastoso). A diferença da consistência estando relacionada a variação do teor de umidade.

A análise das características dos lotes de lodo orgânico do abatedouro avícola, enviadas para estudo, são descritas a seguir.

As imagens dos ***lotes LB1 e LB2*** estão representadas na Figura 13. ***LB1*** apresentou: aspecto de consistência firme com aglomerados isolados; coloração marrom acinzentado; opaco; presença de palha, gravetos e terra; teor de umidade e substâncias voláteis (USV) em base úmida = 74,089% e coeficiente de variação (CV) de 0,409%; massa de USV em base seca = 3,519 (adimensional), expressos nas formulas a seguir: Equação (7) em base úmida (bu); e Equação (8) em base seca (bs). Para os demais cálculos dos lotes LB2 a LB10 utilizou-se as mesmas equações.

$$USV_{\text{bu LB1}} = \frac{(0{,}235) - (0{,}052)}{0{,}247} x100$$

$$USV_{\text{bu LB1}} = 74{,}089\ \%\ \text{(m/m)}$$

$$USV_{\text{bs LB1}} = \frac{(0{,}235) - (0{,}052)}{0{,}052}$$

$$USV_{\text{bs LB1}} = 3{,}519\ \text{(adimensional)}$$

O ***LB2*** apresentou: aspecto de consistência pastosa moldável; coloração marrom escuro; opaco; com presença de gravetos e terra; teor de USV em base úmida = 82,115% e CV = 1,405%; massa de USV em base seca = 1,270.

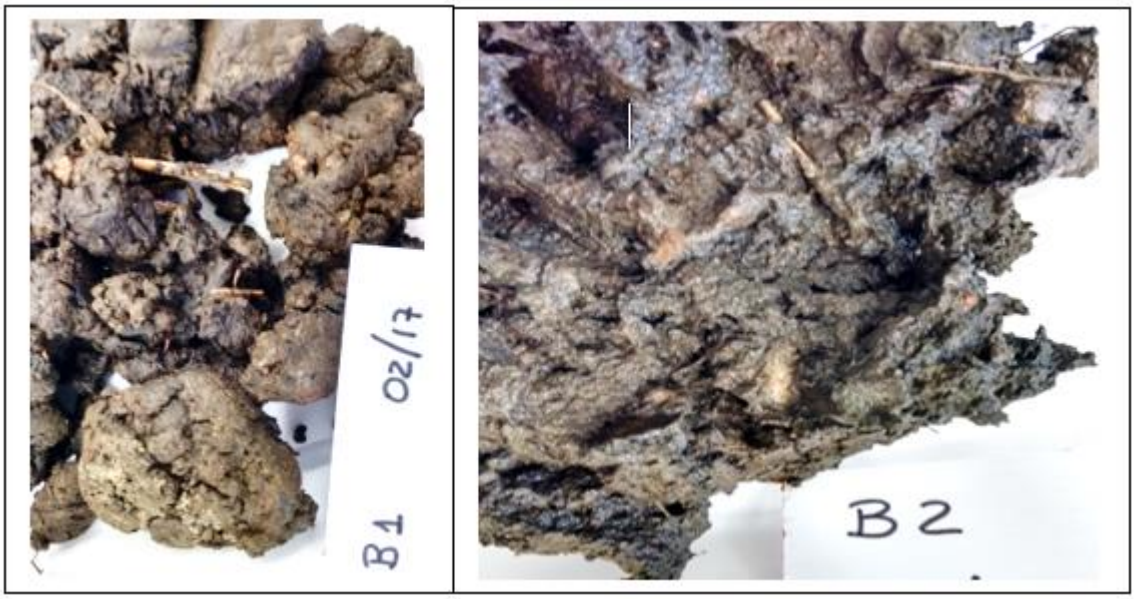


Figura 13: Aspecto do lodo dos lotes LB1 e LB2 proveniente do abatedouro avícola.
Fonte: da autora M. C. JERÔNIMO (2019).

As imagens dos ***lotes B3 e B4*** estão representadas na Figura 14. O ***LB3*** apresentou: aspecto de consistência pastosa moldável; coloração marrom escuro; brilhante; com presença de galhos finos e traços de terra; teor de USV em base úmida = 80,829% e CV = 3,574%; massa de USV em base seca = 4,262. O ***LB4*** apresentou: aspecto de consistência pastosa mole não moldável, com presença de líquido moderada nas bordas do recipiente em que a amostra está contida e se espalha no recipiente ao vibrar; coloração marrom escuro; brilhante; com presença

de gravetos e terra; teor de USV em base úmida = 91,726% e CV = 0,595%; massa de USV em base seca = 11,040.

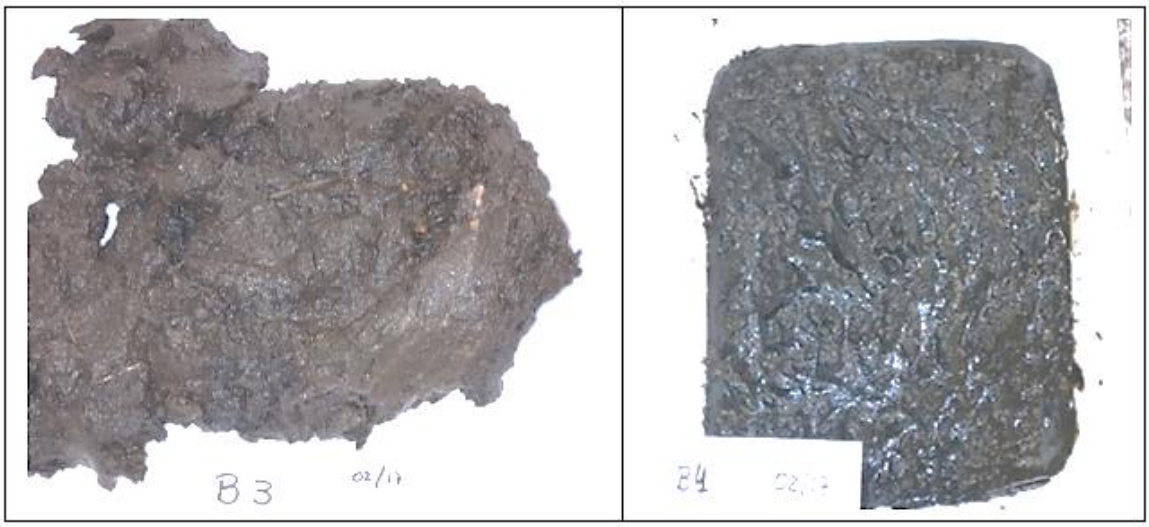


Figura 14: Aspecto do lodo LB3 e LB4 proveniente do abatedouro avícola.
Fonte: da autora M. C. JERÔNIMO (2019).

As imagens dos ***lotes B5 e B6*** estão representadas na Figura 15. O ***LB5*** apresentou: aspecto de consistência pastosa mole não moldável, com presença de líquido nas bordas do recipiente em que a amostra está contida e se espalha no recipiente com muita facilidade; coloração marrom escuro; brilhante; teor de USV em base úmida = 92,484% e CV = 0,363%; massa de USV em base seca = 12,333. O ***LB6*** apresentou: aspecto de consistência pastosa mole não moldável e com presença de líquido em áreas de depressão da amostra; coloração marrom escuro; brilhante; teor de USV em base úmida = 91,373% e CV = 0,087%; massa de USV em base seca = 10,585.



Figura 15: Aspecto do lodo LB5 e LB6 proveniente do abatedouro avícola.
Fonte: da autora M. C. JERÔNIMO (2019).

As imagens dos ***lotes B7 e B8*** estão representadas na Figura 16. O ***LB7*** apresentou: aspecto de consistência pastosa moldável a firme, com presença de poucas graminhas, pontos acinzentados; coloração marrom escuro; opaco; teor de USV em base úmida = 86,390% e CV = 0,504%; massa de USV em base seca = 6,343. O ***LB8*** apresentou: aspecto de consistência pastosa moldável com pontos acinzentados, presença de areia, terra; coloração marrom escuro; opaco; teor de USV em base úmida = 87,350% e CV = 1,019%; massa de USV em base seca = 6,919.

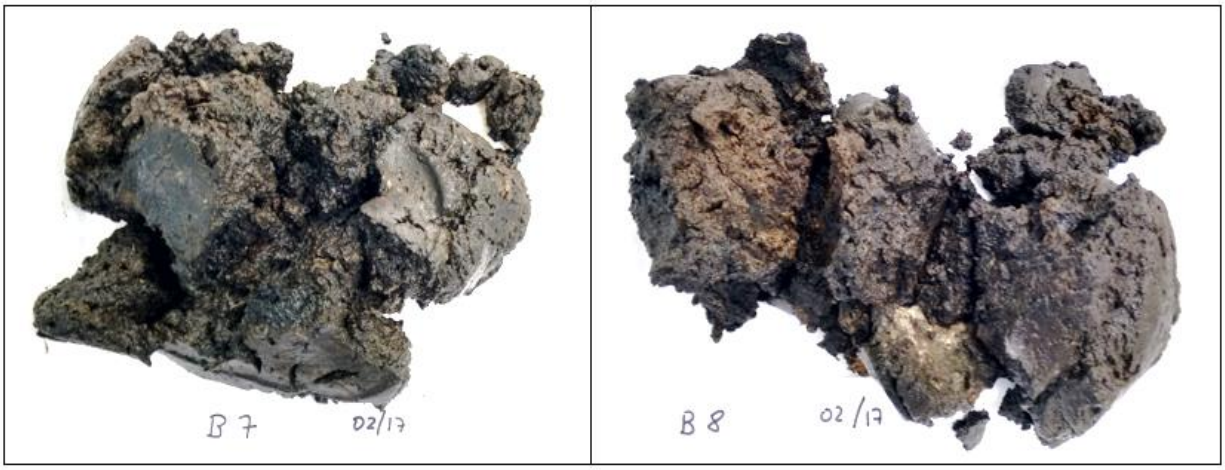


Figura 16: Aspecto do lodo LB7 e LB8 proveniente do abatedouro avícola.
Fonte: da autora M. C. JERÔNIMO (2019).

As imagens dos ***lotes B9 e B10*** estão representadas na Figura 17. O ***LB9*** apresentou: aspecto de consistência pastosa moldável com presença de grama, gravetos; coloração marrom; opaco; teor de USV em base úmida = 81,820% e CV = 0,710%; massa de USV em base seca = 4,495. O ***LB10*** apresentou: aspecto de consistência pastosa moldável, com presença de grama; coloração marrom escuro; opaco; teor de USV em base úmida = 83,256% e CV = 1,665%; massa de USV em base seca = 5,041.

O coeficiente de variação (CV) do USV, dos 10 lotes de lodo provenientes do abatedouro, está dentro do limite ≤ 5%. A variação do CV que vai de 0,08 a 3,57%, contudo, se deve a presença de materiais estranhos no lodo analisado, tais como: gravetos; galhos; terra; gramas; e areia.



Figura 17: Aspecto do lodo LB9 e LB10 proveniente do abatedouro avícola.
Fonte: da autora M. C. JERÔNIMO (2019).

A variação de teor de umidade e substâncias voláteis (USV) nos diferentes lotes de lodo (LB1 a LB10), cálculados em base úmida (92,5 a 74,1%) com seus respectivos CV e em base seca, estão representados na Figura 18.

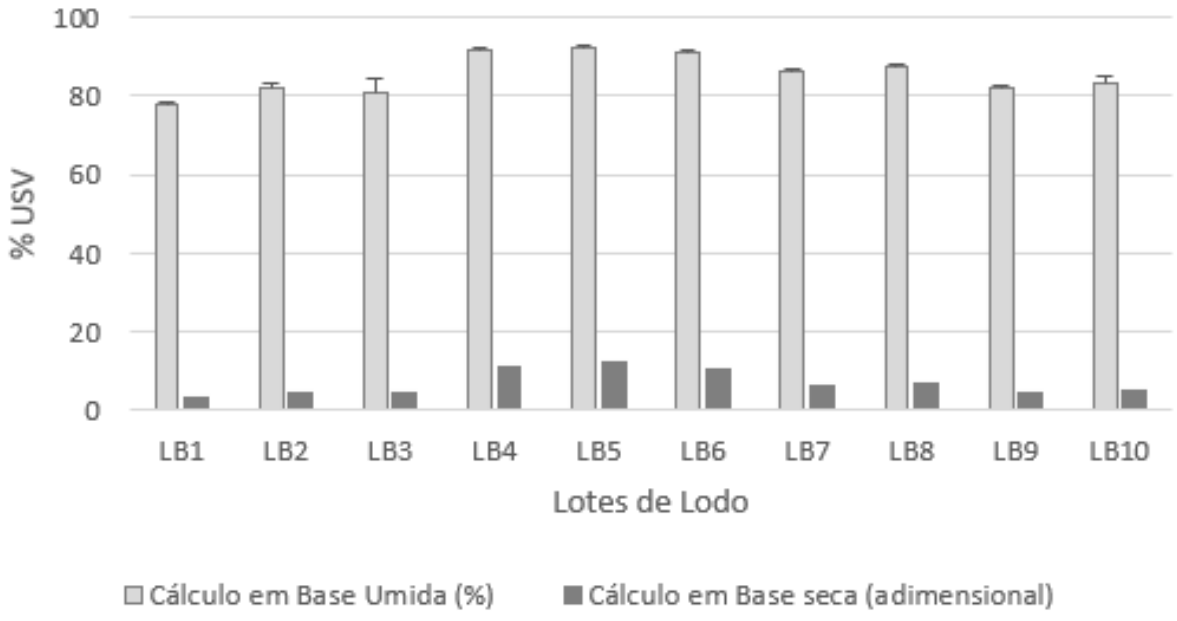


Figura 18: Umidade e substâncias voláteis dos lotes (LB) de lodo provenientes de abatedouro avícola.
Fonte: da autora M. C. JERÔNIMO (2019).

Uma variação de 10% na umidade do lodo influencia em sua capacidade de aglutinação de partículas (compactação), cuja a diferença do aspectos físicos destes lotes de lodo estão representadas nas Figuras 13 a 17. Essa diferença é atribuída à perda de umidade e substâncias

voláteis, reforçando a necessidade de diminuição da USV deste resíduo para contribuir com a diminuição da demanda do espaço do pátio de deposição do lodo ao lado da lagoa de decantação, e do espaço de seu transporte, tornando a destinação final do resíduo economicamente mais viável. O resumo das características dos lotes de lodos, provenientes do abatedouro avícola está descrito na Tabela III.

Tabela III: Resumo das características dos lotes de lodos, recebidos do abatedouro avícola.

Lodo (lote)	**USV bs *** (adimensional)	**USV bu **** (% m/m)	**consistência**	**cor**	**matéria estranha**
LB1	3,519	74,089	firme	marrom acinzentado	Sim
LB2	1,270	82,115	moldável	marrom escuro	Sim
LB3	4,262	80,829	moldável	marrom escuro	Sim
LB4	0,595	91,726	não moldável	marrom escuro	Sim
LB5	1,233	92,484	não moldável	marrom escuto	Não
LB6	1,058	91,373	não moldável	marrom escuro	Não
LB7	6,343	86,390	moldável	marrom escuro	Sim
LB8	6,919	87,350	moldável	marrom escuro	Sim
LB9	4,495	81,820	moldável	marrom	Sim
LB10	5,041	83,256	moldável	marrom escuro	Sim

* USB bs - teor residual de umidade e substâncias voláteis em base seca
**USB bu - teor residual de umidade e substâncias voláteis em base úmida

Na maioria das vezes, a porcentagem em base úmida, é usado em produtos para fins comerciais, e no estabelecimento de preços. Já o teor em base seca é usado em trabalhos de pesquisas e em cálculos específicos (SILVA; RUFATO, 2001). As diferenças dos aspectos físicos dos lotes de lodo, aqui apresentadas justifica o tratamento prévio do material, afim de obter sua homogeinização antes de submete-lo à secagem e ao processamento pelas micro-ondas, e eliminar parte da água do lodo por um sistema menos oneroso.

3.2 PRÉ-TRATAMENTO DO LODO

O tratamento prévio do lodo orgânico foi realizado no lodo fornecido pelo abatedouro, pois o teste de ajuste do equipamento na secagem em Forno Micro-ondas ONDATEC® o lodo exigiu mais que 3h para secar, tempo este considerado demasiado, tornando o processo de secagem economicamente inviável. Devido a este fato o lodo oriundo do abatedoutro foi submetido ao tratamento prévio, afim de homogeinizar as características físicas e reduzir a umidade, sendo necessário a exposição a céu aberto por 12 dias.

O lodo previamente tratado (TP) apresentou o teor de USV de 67,690% e CV de 7,881%. O tratamento prévio (exposição em céu aberto por 12 dias) do lodo orgânico, permitiu além da homogeneização do material, eliminar 17,5 % USV (bu) do lodo proveniente do abatedouro que apresentava 83,3% USV em média (92,5 a 74,1% USV em bu). O Lodo TP foi encaminhado para processamento em forno micro-ondas: secagem e tratamento.

Umidade e substâncias voláteis residual do lodo previamente tratado: a porcentagem de umidade residual de TP em base seca pela Equação (8), é 4,1 (adimensional).

$$USV_{\text{bs}} = \frac{(0{,}247) - (0{,}048)}{0{,}048}$$

$$USV_{\text{bs}} = 4{,}145 \text{ (adimensional)}$$

Onde:

USV_{bs} = umidade em base seca (adimensional);
mLA = massa do lodo sem tratamento (g);
mLS = massa do lodo sem tratamento desidratado (g);

Densidade do lodo previamente tratado: A densidade real da amostra TP calculada pela Equação (15) é de 1,826 ± 0,025 g/mL

$$DR = \frac{20{,}020 \pm 0{,}006}{(25 - vEtOH)}$$

Onde:

DR: densidade real (g ou kg/mL ou L)
ms: massa da amostra seca (g ou kg)
vEtOH: volume de etanol gasto (mL ou L)

A determinação da densidade do material foi realizada, a fim de explorar esta característica, que está relacionada à sua capacidade de compactação e diminuição do volume na estocagem e transporte, podendo trazer uma solução para a destinação economicamente viável deste resíduo. Os lotes de lodo encaminhados para estudo na Empresa ONDATEC apresentaram diferentes características, alguns mais de consistência firme com aglomerados, outros pastosos moldáveis e não moldáveis, o que influência diretamente no transporte, tratamento e destinação final.

3.3 EFICIÊNCIA DO FORNO MICRO-ONDAS NA SECAGEM E TRATAMENTO DO LODO ORGÂNICO

O entendimento do funcionamento dos fornos micro-ondas para aplicações tanto doméstica domésticas, como as industriais se faz necessário para validação dos ensaios realizados utilizando esta metodologia.

O estudo de eficiência do Forno Micro-ondas ONDATEC® se deu nos tratamentos à 100ºC (T100) e Á 504ºC (T504). No tratamento T100, ocorreu o processo de secagem e tratamento a 504ºC, ocorreu a pirólise. A seguir são descritos os cálculos da eficiência do forno utilizando as equações citadas e materiais e método (Item: 2.2 Transferência de calor do forno micro-ondas para o lodo).

3.3.1 Cálculo do calor - Tratamento do lodo T100

Emprega-se para o cálculo do calor, a Equação (10) utilizando a massa úmida:

$$\boldsymbol{q1} = 18{,}54\ kg\ .2{,}95\ \frac{kj}{kg°C}\ .(100-25)°C$$

$$\boldsymbol{q1} = 4101{,}97kj$$

Onde:

q1 = Calor sensível (kj)
m = massa do lodo úmido (kg)
cp = calor especifico ($\frac{kj}{kg°C}$)
Δt = variação de temperatura °C.

Emprega-se para o cálculo do calor, a Equação (11) utilizando a massa seca, onde 1,961 é a média dos cp(s) tabelados da proteína, carboidrato e gordura (BORGNAKKE; SONNTAG, 2013):

$$\boldsymbol{q2} = 18.54\ kg\ .(1 - 0{,}7786)\ .1{,}961\ \frac{kj}{kg°C}\ .(500 - 100)°C$$

$$\boldsymbol{q2} = 4{,}10\ kg\ .1{,}961\frac{kj}{kg°C}\ .400°C$$

$$\boldsymbol{q2} = 3216{,}04\ \ kj$$

Onde:

q2 = Calor (kj)
m = massa do lodo seco (kg)
cp = calor especifico lodo seco($\frac{kj}{kg°C}$)
Δt = variação de temperatura ºC

Emprega-se para o cálculo do calor latente, a Equação (12):

$$\boldsymbol{q3} = (18{,}54kg - 4{,}10kg).1319{,}7\frac{kj}{kg°C}$$

$$\boldsymbol{q3} = 14{,}44\ .1319{,}7\frac{kj}{kg°C}$$

$$\boldsymbol{q3} = 19056{,}46\ kj$$

Onde:

q3 = Calor latente
m_{H2O} = massa de água evaporada;
λ: Calor latente.

Emprega-se para o cálculo da massa do vapor, a Equação (13), calor usado no aquecimento do vapor de 100ºC, até 504ºC:

$$\boldsymbol{q4} = 14{,}44kg\ .\ 2{,}10\ \frac{kj}{kg°C}\ .(500 - 100)°C$$

$$\boldsymbol{q4} = 11609{,}76\ kj.$$

Onde:

q4 = Calor necessário para aquecer o lodo até 500°C;
m_{vapor} = massa do vapor
cp = calor especifico ;
Δt = variação de temperatura.

Emprega-se para o cálculo da potencia do forno, a Equação (14):

$$\boldsymbol{p} = 220\ .\ 41{,}0$$

$$\boldsymbol{p} = 9196$$

Onde:

p = potencia consumida do forno.
t = tensão;
I = corrente lida x magnéton (41,0).

A soma de q1, q2, q3 e q4 é 37984,23 kj. Emprega-se para o cálculo da eficiencia do forno, a Equação (9):

$$n = \frac{37984{,}23}{66211{,}00}\ x\ 100$$

$$\boldsymbol{n = 57{,}36\%}$$

Onde:

n = Eficiência do forno micro-ondas;
qt = Calor total recebido (q1 +q2 +q3 + q4);
p = potência;
t = tempo (1h x 360 s = 7200 s).

3.3.2 Cálculo do calor - Tratamento **do lodo T504**

Emprega-se para o cálculo do calor, a Equação (10) utilizando a massa úmida:

$$\boldsymbol{q1} = 26{,}52\ kg\ .2{,}95\ \frac{kj}{kg°C}\ .(100-25)°C$$

$$\boldsymbol{q1} = 5867{,}55\text{kj}$$

Onde:

q 1 = Calor sensível (kj)
m = massa do lodo úmido (kg)
cp = calor especifico ($\frac{kj}{kg°C}$)
Δt = variação de temperatura °C.

Emprega-se para o cálculo do calor, a Equação (11) utilizando a massa seca:

$$\boldsymbol{q2} = 26{,}52kg\ .(1-0{,}6261)\ .1{,}961\ \frac{kj}{kg°C}\ .(500-100)°C$$

$$\boldsymbol{q2} = 9915{,}83\ kg\ .1{,}961\frac{kj}{kg°C}\ .400°C$$

$$\boldsymbol{q2} = 7777{,}97\ kj$$

Onde:

q2 = Calor (kj)
m = massa do lodo seco (kg)
cp = calor especifico lodo seco($\frac{kj}{kg°C}$)
Δt = variação de temperatura ºC

Emprega-se para o cálculo do calor latente, a Equação (12):

$$\boldsymbol{q3} = (26{,}52kg - 9915{,}83kg).\,1319{,}7\,\frac{kj}{kg}$$

$$\boldsymbol{q3} = 9889{,}31.\,1319{,}7kj$$

$$\boldsymbol{q3} = 13050{,}92\ kj$$

Onde:

q3 = Calor latente

m_{H2O} = massa de água evaporada;

λ = Calor latente.

Emprega-se para o cálculo da massa do vapor, a Equação (13):

$$\boldsymbol{q4} = 9889{,}31kg\ .\,2{,}10\ \frac{kj}{kg°C}\ .(500 - 100)°C$$

$$\boldsymbol{q4} = 7951{,}00\ kj.$$

Onde:

q 4 = Calor necessário para aquecer o lodo até 500°C;

m_{vapor} = massa do vapor

cp = calor especifico ;

Δt = variação de temperatura.

Emprega-se para o cálculo da potencia do forno, a Equação (14):

$$\boldsymbol{p} = 220\ .\,38{,}84$$

$$\boldsymbol{p} = 9196$$

Onde:

P = potencia consumida do forno.

t = tensão;

I = corrente lida x magnéton .

Emprega-se para o cálculo da eficiencia do forno, a Equação (9):

$$n = \frac{34984{,}23\,\frac{kj}{kj}}{61522{,}56\,\frac{kj}{kj}}/s\ x\ 100$$

$$\boldsymbol{n = 56{,}86\%}$$

Onde:

n = Eficiência do forno micro-ondas;
qt = Calor total recebido (q1 +q2 +q3 + q4);
p = potência;
t = tempo.

Pode-se observar que a eficiência do forno na secagem do lodo a 100ºC e o tratamento a 504ºC é semelhante. O Forno Micro-ondas ONDATEC foi considerado eficiente na secagem do lodo orgânico de abatedouro avícola®.

3.3.3 Secagem - Tratamento T100

Como representa o gráfico na Figura 19, a secagem, o lodo orgânico após ser inserido na cavidade rotativa do forno micro-ondas, teve como temperatura inicial 30°C (Figura 19A). Em seguida elevou-se a temperatura de 30ºC a 100°C em 76,9 min (Figura 19B), permanecendo a 102ºC por 22,9 min (Figura 19C). A temperatura foi elevada a 106ºC em 22,1 min e permaneceu sob ação das micro-ondas à temperatura de secagem, 105 – 106 °C por 12,8 min, (Figura 19D). Posteriormente, a temperatura caiu e o lodo permaneceu a 103-101°C por 33,6 min representado na Figura 19E. A faixa F (Figura 19F) representa o término do tratamento que corresponde ao resfriamento. A análise gravimétrica do lodo após secagem no micro-ondas confirmou a eliminação total da umidade e substâncias voláteis, mostrando a eficiência do processo de secagem.

O gráfico obtido no tratamento T100, representa a curva de temperatura na secagem do lodo, que é compatível com o descrito na literatura, que relata a secagem de produtos farmacêuticos em forno de micro-ondas padrão (McMINN; McLOUGHLIN; MAGEE, 2004), onde esta curva apresenta três estágios (Figura 20): fase 1 - um curto período de aquecimento; fase 2 - o estágio de temperatura constante; fase 3 - a temperatura decrescente.

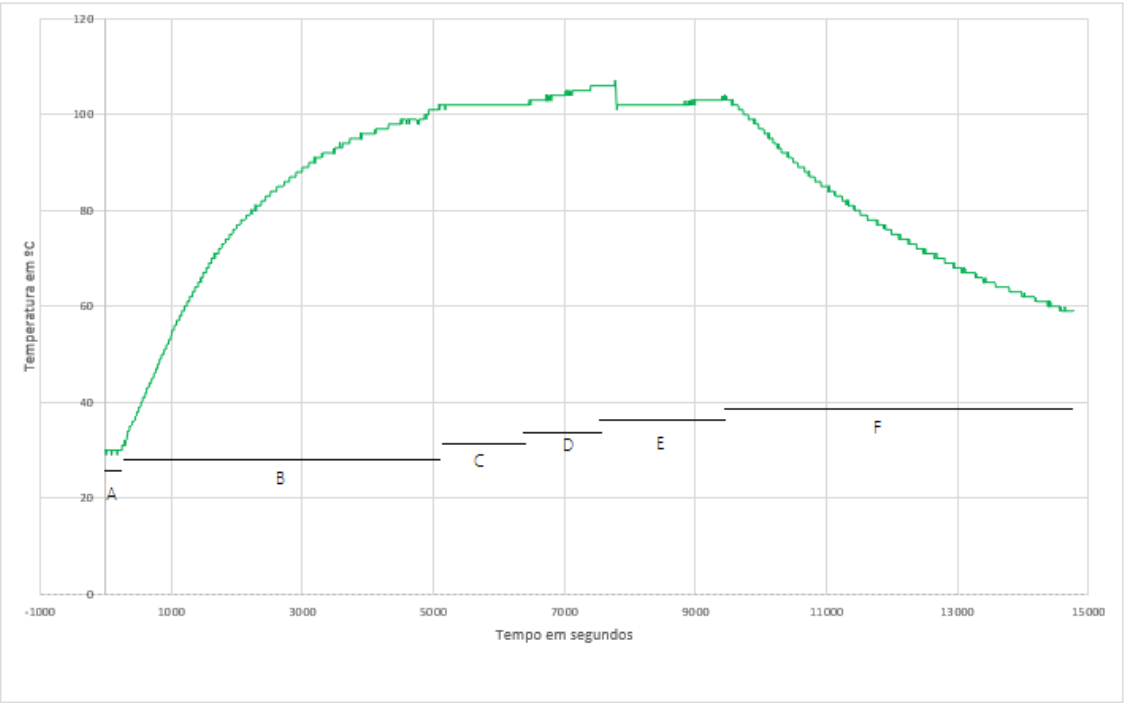


Figura 19: Curva de temperatura em função do tempo de secagem do lodo orgânico em micro-ondas de cavidade rotativa, com as respectivas faixas de temperatura: A (30ºC de 0-4,3 min); B (31-99ºC, 4,3-81,2 min); C (102 ºC, 84,9-107,8 min); D (105-106 ºC, 117,1-129,9 min); E (103-100 ºC, 130,0-163,6 min); F (resfriamento).

Fonte: da autora M. C. JERÔNIMO (2019).

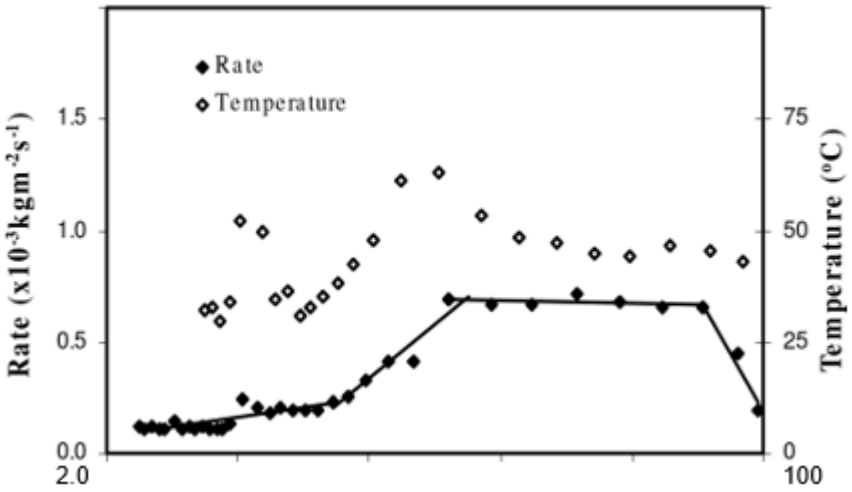


Figura 20: Secagem de lactose em forno micro-ondas padrão.
Fonte: (MCMINN; MCLOUGHLIN; MAGEE, 2004).

3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS OBTIDOS PELA AÇÃO DAS MICRO-ONDAS .

A análise gravimétrica da umidade residual do T100, confirma a eliminação total da umidade, tornando o lodo anidro, nas 3 amostragens analisadas, o que confirma a eficiência do Forno Micro-ondas ONDATEC® de cavidade rotativa na secagem do lodo de abatedouro avícola.

3.4.1 Densidade das Partículas

A comparação das densidades das amostras TP (lodo tratado previamente a céu aberto), T100 (TP seco a 100ºC no micro-ondas), e T504 (TP tratado a 504ºC no micro-ondas) mostra redução de 1/3 da densidade após secagem e tratamento pelas micro-onda do lodo TP. Os valores da densidade real (Figura 21) obtidos são: TP = 1,826 ± 0,025 g/mL; T100 = 0,502 ± 0,001 g/mL; T504 = 0,498 ± 0,003 g/mL. Dessa forma a ação das micro-ondas (secagem – T100 e tratamento T504) no lodo promove uma maior capacidade de compactação do resíduo, por promover a diminuição do volume do material, isso implica na redução de 2/3 da área de depósito do lodo no abatedouro.

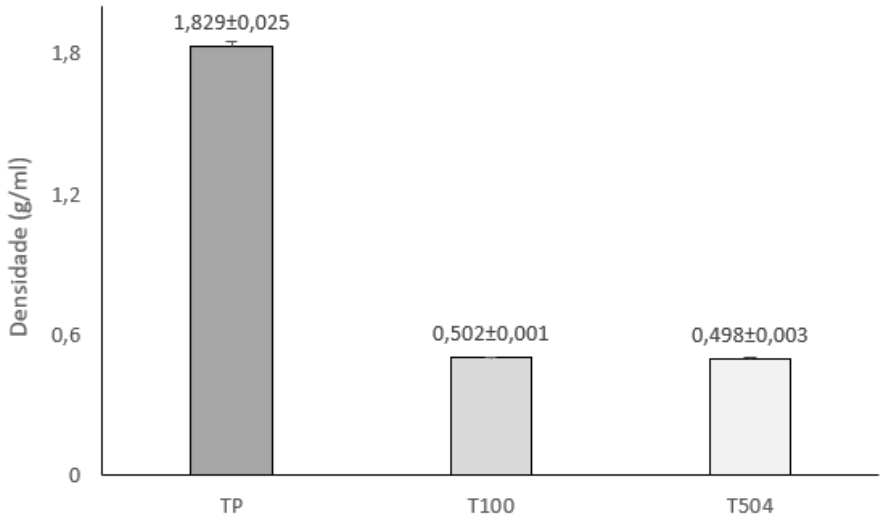


Figura 21: Densidade real das amostras: Tratamento Prévio - TP (lodo tratado previamente a céu aberto), T100 (lodo tratado previamente + secagem a 100ºC no micro-ondas), T504 (lodo tratado previamente + tratamento a 504ºC no micro-ondas).

Fonte: da autora M. C. JERÔNIMO (2019)

3.4.2 Metais Pesados e Nutrientes

De acordo com Pinheiro (2007) os teores máximos em metais pesados admitidos no lodo de esgoto a ser utilizado na agricultura, difere segundo a legislação de diversos países (Tabela IV): Brasil (BR), Estados Unidos (EUA), França (FR), Holanda (HOL), Suécia (SUE), Alemanha (ALE), Dinamarca (DIN), Espanha (ESP). Os elementos comparados foram: arsênio (As), bário (Ba), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), chumbo (Pb), molibdênio (Mo), mercúrio (Hg), níquel (Ni), selênio (Se), zinco (Zn).

Tabela IV: Revisão da literatura dos teores máximos em metais pesados admitidos no lodo de esgoto a ser utilizado na agricultura.

Elementos	Concentração (mg/kg de matéria seca)								
	BR	**EUA**	**EUA**	**FR**	**HOL**	**SUE**	**ALE**	**DIN**	**ESP**
As	41	75	41	nd	nd	nd	nd	25,0	nd
Ba	1300	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cd	39	85	39	20	1,25	2,0	10	0,8	20
Cr	1000	3000	1200	1000	75,00	100,0	900	100,0	1000
Cu	1500	4300	1500	1000	75,00	600,0	800	1000,0	1000
Pb	300	840	300	800	100,00	100,0	900	120,0	750
Mo	50	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hg	17	57	17	10	0,75	2,5	8,0	0,8	16
Ni	420	420	420	200	30,00	50,0	200	30,0	300
Se	100	100	36	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Zn	2800	7500	2800	3000	300,00	800,0	2500	4000,0	2500

Fonte: (PINHEIRO, 2007).

As plantas e os vegetais precisam de nutrientes para crescimento saudável, sendo eles divididos em dois grupos: macronutrientes e micronutrientes. Cada nutriente age de uma forma específica no desenvolvimento dos vegetais, de forma equilibrada (FAQUIN, 2005). A concentração dos nutrientes e metais pesados obtidos neste trabalho estão descritos na Tabela V, juntamente com os dados descritos na literatura.

Tabela V: Concentração de nutrientes e de metais pesados presentes no lodo de abatedouro avícola e de esgoto.

Nutrientes e Metais Pesados	**Lodo - Abatedouro Avícola** Triangulo Mineiro (mg/kg)				**Lodo de Esgoto** São Paulo (mg/kg)				
	* dados obtidos	(SILVA JUNIOR, 2018) adequado *			(BETTIOL, 1982) (CARVALHO, 1982)	limite máx. Brasil (BRASIL(a), 2006)	(BORGES *et al*., 2008)		
							lodo sanitário	lodo de celulose e papel	lodo têxtil
	T100	**TP**	**T220**	**T504**					
Cálcio	--	20,10	22,80	29,60	--	--	--	--	--
Enxofre	--	31,30	31,70	14,30	--	--	8,60	17,60	3,30
Umidade	--	21,00	10,30	4,70	--	--	--	--	--
Relação C/N (adimensional)	--	8,17	8,73	9,40	--	--	--	--	--
C orgânico total	--	265,70	284,30	320,00	--	--	275,00	448,00	272,00
Pentóxido de difósforo	--	25,80	31,10	36,70	26,00	--	--	--	--
Hidrogênio	--	32,50	32,60	34,00	--	--	43,20	53,80	40,00
Nitrogênio	--	1,80	1,60	2,50	12,60	--	44,00	17,70	28,60
Zn	2190,00	--	--	--	4.151,20	2800,00	--	--	--
Cobre	1300,00	--	--	--	1.039,20	1500,0	--	--	--
Magnésio	0,00	--	--	--	6.000,00	--	--	--	--
Cádmio	3,78	--	--	--	11,08	39,00	--	--	--
Chumbo	31,31	--	--	--	730,00	300,00	--	--	--
Níquel	0,00	--	--	--	562,40	420,00	--	--	--
Cromo	291,05	--	--	--	884,00	1000,00	--	--	--

* = conversão da unidade % para mg/kg.

Os valores de zinco; cádmio; chumbo e cromo, do lodo de abatedouro avícola seco a 100ºC no Forno Micro-ondas ONDATEC®, apresentam-se dentro dos limites máximos de metais pesados permitidos na legislação (BRASIL(a), 2006), podendo ser utilizado na agricultura quanto a estes parâmetros. O cobre está abaixo do permitido pela legislação, sendo necessário novo processamento do lodo seco para diminuição deste metal pesado, como por exemplo o trabalho

de Faquin (2005) descrito na literatura, onde o uso do cálcio associado ao produto contendo cobre diminui a concentração deste elemento ao nível permitido. A resistência das plantas às doenças fúngicas está relacionada com o suprimento adequado de cobre para cada cultura (ROMUALDO, 2008).

A comparação da concentração destes elementos entre o lodo de abatedouros avícola e o lodo de esgoto, demonstra que a quantidade de enxofre presente no lodo de aves é maior do que no lodo de esgoto (Tabela IV). O carbono total dos lodos em questão (de aves e de esgoto) são equivalentes, mas a quantidade de carbono presente no lodo de aves que processando em forno micro-ondas a 504ºC (SILVA JUNIOR, 2018) é equivalente à da quantidade de carbono no lodo de esgoto proveniente de indústria de celulose e papel.

A concentração de nitrogênio e hidrogênio no lodo sanitário, de indústria de celulose/papel e têxtil (BORGES; SELLIN; MEDEIROS, 2008) é superior ao do lodo de aves apresentado nesta pesquisa. O cobre no lodo de esgoto (BETTIOL, 1982; CARVALHO, 1982) é mil vezes maior do que o limite estipulado pela legislação e o lodo de aves seco pelas micro-ondas é cerca de duas vezes maior. O lodo proveniente de abatedouros de aves (antes e após tratamento pelas micro-ondas) contem nutrientes importes para as plantas como cálcio; enxofre; nitrogênio, zinco; cobre. Isto indica que as micro-ondas não interfere na concentração destes nutrientes, mantendo sua qualidade nutricional. O nitrogênio é um dos principais elementos presentes nos aminoácidos e nas proteínas que são essenciais a sobrevida dos vegetais. O nitrogênio é capturado por bactérias vegetativas no solo e em elevadas quantidades favorece a frutificação e a floração, além de deixar o fruto mais suculento. As plantas saudáveis têm de 3% a 4% de nitrogênio em seus tecidos aéreos. O cálcio atua no crescimento das raízes, e no solo reduz a acidez e a toxicidade do alumínio, cobre e manganês (FAQUIN, 2005).

O enxofre participa na composição celular dos cloroplastos presentes nos vegetais e quando utilizado em quantidade necessárias ao vegetal, sua aplicação no solo é pouco frequente. O enxofre é o quarto nutriente mais usado pelas plantas, ficando atrás somente no nitrogênio (ROMUALDO, 2008). A legislação CONAMA (BRASIL(a), 2006) não apresenta limite para este elemento e ele está presente no lodo de aves antes e após tratamento pelas micro-ondas.

O zinco, é um dos principais elementos relacionado aos transportes de nutrientes nos vegetais, auxiliando, nos processos reprodutivos e no crescimento (ROMUALDO, 2008). O zinco presente no lodo seco pelas micro-ondas está dento do limite estipulado pelo CONAMA

(BRASIL(a), 2006), enquanto no lodo de esgoto este elemento encontra-se acima do limite estipulado (BETTIOL, 1982; CARVALHO, 1982).

A análise de óleos e cinzas no lodo de aves, antes e após processamento no forno micro-ondas ONDATEC®, demonstra que as micro-ondas alterou a concentração destes elementos apenas no tratamento a 504ºC (T504). As cinzas totais para TP e T100 é de 47% , enquanto para T504 é de 39%. O teor de óleo para TP e T100 é de 14%, enquanto para T504 é de 22%.

Entre as alternativas existentes para destinação do lodo, é descrito as opções: descarte ou uso como condicionador de solo e/ou fertilizante (BETTIOL, 1982). De acordo com os resultados obtidos o lodo de abatedouro avícola tratado em Forno Micro-ondas ONDATEC®, pode ser usado como condicionador de solo como sugerido por Bettiol (1982) em seu trabalho sobre a utilição como fertilizante de lodo de esgoto.

3.4.3 Carga Microbiana

A carga microbiana no lodo antes e após processamento pelas micro-ondas, pelas análises de Gram e determinação da turbidez do meio de incubação (BHI) das amostras estudadas, sendo elas: TP (lodo tratado previamente a céu aberto), T100 (lodo seco a 100ºC pelas micro-ondas) e T504 (lodo tratado a 504ºC pelas micro-ondas), apresentaram presença de microrganismos. A interpretação dos resultados é descrita como segue.

Leitura da Absorbância

A leitura da turbidez “a olho nú” das amostras de lodo orgânico incubadas no BHI foram: TP turvo; T100 límpido; T504 límpido. A leitura da turbidez em espectrofotômetro das amostras indica contaminação microbiana em todas as amostras. Houve diminuição da turbidez do BHI incubado com lodo seco a 100ºC (T100) e processado a 504ºC (T504) em micro-ondas, em relação ao lodo tratado previamente a céu aberto (TP), como representado na Figua 22. A redução da turbidez sugere diminuição da carga microbiana após ação das micro-ondas.

A análise microbiana sé dá após incubação do material a ser avaliado em um meio de cultura rico em nutrientes como o BHI, para favorecer o crescimento microbiano e

posteriormente dar prosseguimento às analises como; análise de Gram; contagem de colônias; e identificação dos tipos de microrganismos (ROCHA *et al*., 2016).

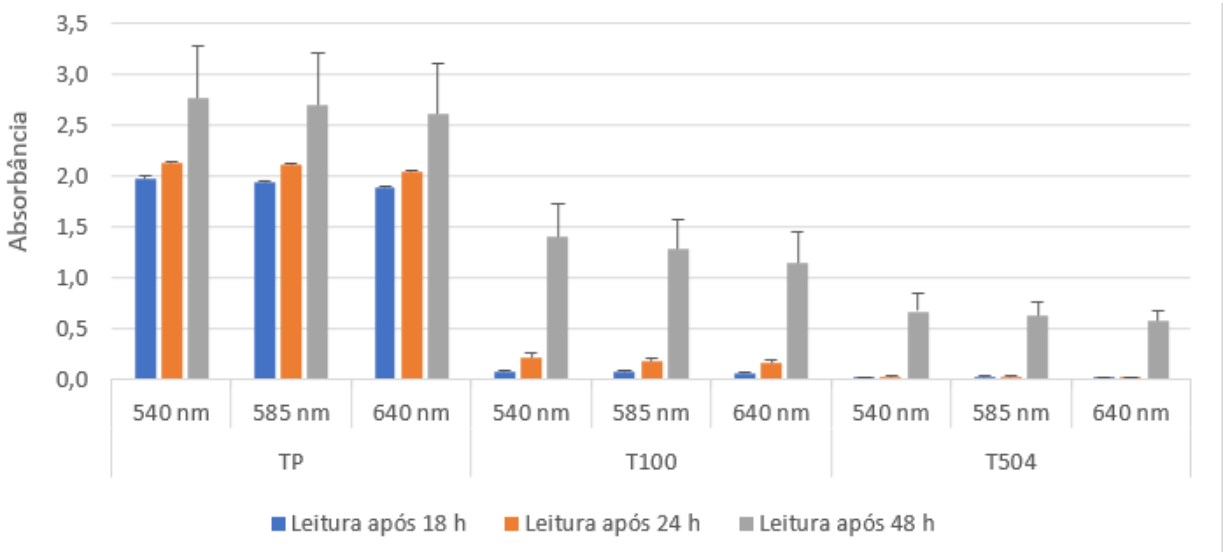


Figura 22: Absorbância da turbidez em diferentes comprimentos de ondas, das amostras de lodo incubadas em BHI: TP (tratamento prévio); T100 (secagem a 100ºC em forno micro-ondas); T504 (tratamento a 504ºC em micro-ondas).

Fonte: da autora M. C. JERÔNIMO (2019)

A presença de microrganismos em uma amostra, faz com que o meio de incubação (37ºC) se turve (“a olho nú”) durante o período de 24h - 48h, confirmando a contaminacção microbiana, dando assim prosseguimento às análises subsequentes. A “a olho nú”, a não turvação, ou seja a limpidez do meio incubado, faz com que alguns autores não dê prosseguimento às análises, considerando-as não contaminadas (BRESOLIN; DALL'STELLA; FONTOURA-DA-SILVA, 2005). A leitura da turbidez por espectrofotometria é mais confiável e preciso, o que fundamenta este estudo.

Em λ540 nm (incubação 18h) a redução da turbidez de T100 em relação a TP (T100/TP) é de 24 vezes, enquanto que de T504/Tp é de 91 vezes e T100/T504 é de 4 vezes. Para os outros dois comprimentos de onda analizados (λ585 nm e λ640 nm) e essa redução se repete após 24h de incubação e de 48 h de incubação, como descrito os dados na Tabela **VI**.

Tabela VI: Absorbância da turbidez em diferentes comprimentos de ondas e em diferentes tempos, das amostras de lodo incubadas no BHI: TP (tratamento prévio); T100 (secagem a 100ºC em forno micro-ondas); T504 (tratamento a 504ºC em micro-ondas).

Amostra	λ (nm)	após 18 h		após 24 h		após 48 h	
		Absorbancia	DP*	Absorbancia	DP	Absorbancia	DP
TP	540 nm	1,973	0,023	2,132	0,010	2,757	0,520
	585 nm	1,927	0,020	2,100	0,018	2,686	0,511
	640 nm	1,875	0,018	2,038	0,020	2,602	0,499
T100	540 nm	0,081	0,007	0,218	0,042	1,405	0,320
	585 nm	0,074	0,008	0,178	0,034	1,283	0,294
	640 nm	0,067	0,007	0,162	0,029	1,143	0,301
T504	540 nm	0,022	0,008	0,021	0,010	0,671	0,177
	585 nm	0,023	0,008	0,022	0,008	0,626	0,139
	640 nm	0,022	0,008	0,022	0,007	0,569	0,104

* DP = Desvio Padrão

Estes resultados confirmam que o Forno Micro-ondas ONDATEC®, além de secar reduz a carga microbiana (análise em λ540 nm a λ640 nm): 24 a 28 a vezes (18 h de incubação); de 9 a 13 vezes (24 h de incubação); de 2 a 6 vezes (24 h de incubação). A identificação das bactérias se faz necessário para complementação dos resultados aqui apresentados.

Uma vez que, a secagem a 100ºC do lodo no forno micro-ondas não inativa a totalidade dos microrganismos, a identificação deles no lodo seco se faz necessária, a fin de verificar a existência ou não de patógenos ao homem. O Forno Micro-ondas ONDATEC®, de cavidade rotativa, é capaz de eliminar a totalidade de microrganismos a 220ºC do lodo orgânico proveniente de abatedoutos de aves, de acordo com o estudo de Bucek e colaboradores (2019). Sendo assim, a presença de turbidez na amostra T504 sé dá ao fato de que a amostragem do material para análise, foi realizado fora do forno, e colocado no chão, o que leva uma recontaminação do material processado, uma vez que o ambiente de trabalho não é estéril. Rocha e colaboradores (2016) descrevem as fontes de propagação destes microrganismos pelo: solo, água, manipuladores, utensílios, ar. Esta recontaminação também foi observada por Bucek e colaboradores (2019) no lodo processado a 504ºC e coletado nas mesmas condições.

O estudo de determinação das condições de secagem do lodo em micro-ondas que seja capaz de, simultaneamente, secar e inativar a totalidade dos micro-organismos é importante, para comercialização deste lodo seco como fertilizante ou componente de produto fertilizante, pois

nestas condições o lodo estará livre de patógenos e sua recontaminação será com microrganismos presentes no ar e no ambiente que vivemos.

Nessa técnica, a leitura de absorbância em especotrofotômetro do meio de cultura incubado com amostras, vem sendo aplicado em outras áreas para controle do crescimento de microrganismo, como: no leite (GUEDES *et al.*, 2009), na fermentação do caldo de cana de açúcar (VIEIRA; FERNANDES, 2012).

Coloração de Gram

A visualização das lâminas coradas pela técnica de Gram (teste qualitativo) das amostras TP, T100 e T504, confirmou presença de bacilos Gram positivos. No levantamento bibliográfico realizado, não foi identificado estudo de Gram em lodo de abatedouro avícola, nem em lodo de outras origens. Isto justifica o aprofundamento dos estudos na identificação de quais microrganismos Gram positivos estão presentes no lodo. De acordo com Rocha e colaboradores (2016) as Gram-positivas são as que mais resistem ao longo do tempo.

Em outras áreas como na indústria alimentícia, os microrganismos Gram positivos patógenos (causadores de doenças ao homem) são: *Bacillus cereus*, responsáveis pelas gastrenterites, os *Clostridium botulinum* responsáveis pelo botulismo, *Clostridium perfringens* causador de intoxicação alimentar, e a *Listeria monocytogenes* causadora da listeriose autora de septicemia, aborto, endocardite, conjuntivite, meningite entre outros. Temos também os deterioradores de alimentos *B. subtilis, B. stearothermophilus* e *B. coagulans*, os *Clostridium pasteuranum, Clostridium sporogenes, Brochotrix thermospacta, os Carnobacterium spp* e *Kurthia zopfii* (BRESOLIN; DALL'STELLA; FONTOURA-DA-SILVA, 2005; MAÑAS; PAGÁN, 2005; ROCHA *et al*., 2016).

CONCLUSÃO

O Forno Micro-ondas ONDATEC® de cavidade rotativa é eficiente na secagem do lodo de abatedouro avícola.

Este estudo confirma a possibilidade de obter um produto que possa ser utilizado no solo, à partir do lodo de abatedouro avícola. O produto obtido contem matéria orgânica e nutrientes necessários para o vegetal, porém o teor sendo baixo, para que possamos considerar o lodo submetido às micro-ondas como fertilizante, justifica-se o seu uso como condicionador de solo.

Os produtos obtidos, lodo seco e lodo tratado pela ação das micro-ondas no Forno ONDATEC®, é capaz de reduzir a carga microbiana no processo de secagem e esta redução é maior com o aumeno da temperatura de tratamento do lodo.

A ação das micro-ondas no lodo promove uma maior capacidade de compactação do resíduo, por promover a diminuição do volume do material, isso implica na redução de 2/3 da área de deposito do lodo no abatedouro.

Para que a secagem e o processamento do lodo em Forno ONDATEC® seja economicamente viável, é necessário que o lodo passe por um tratamento prévio, antes do processamento pelas micro-ondas, proposto neste trabalho, que permite a perda de 17% de umidade. Esta perda de umidade poderá ser semelhante ao lodo estocado no pátio a céu aberto, e em begues, após retirado do fundo da lagoa de decantação, por um período a ser estabelecido em novos estudos.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Os dados gerados neste trabalho permite que o lodo seco pelas micro-ondas, possa ser comercializado como condicionador de solo e/ou como fração de um fertilizante a ser elaborado.

O Forno Micro-ondas de cavidade rotativa Tecnologia ONDATEC®, a 100ºC é eficiente na secagem do lodo, porém não inativa a totalidade dos microrganismos, sugerindo novos experimentos, com a permanência do lodo por mais tempo na temperatura 100ºC, e determinar o tempo necessário para a inativação de todos microrganismos nesta temperatura de secagem.

Se faz necessário a identificação dos microrganismos no lodo seco no forno a 100ºC, a fim de identificar a existência ou não de patógenos ao homem para o seu uso em áreas de cultivo de hortaliças.

As análises no processo aqui apresentadas é importante para uma tomada de decisão pela empresa, quanto ao custo/benefício, na implantação do processo, assim como para elaboração de um novo Forno ONDATEC®, específico para tratamento de lodo orgânico e visando a redução do gasto de energia.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma brasileira:** ABNT NBR 9800: critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário: procedimento. Rio de Janeiro. 1987. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma brasileira:** ABNT NBR 10004: resíduos sólidos: classificação. 2. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2004. 71 p.

ABREU JUNIOR., C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos em Ciência do Solo,** v. 4, p. 391-470, 2005.

AYMERICH, T.; PICOUET, P. A.; MONFORT, J. M. Decontamination technologies for meat products. **Meat Science**, v. 78, n. 1-2, p. 114-129, 2008.

AZIZ, N. H.; MAHROUS, S. R.; YOUSSEF, B. M. Effect of gamma- ray and microwave treatment on the shelf- life of beef products stored at 5°C. **Food Control,** v. 13, n. 6-7, p. 437-444, 2002.

BANIK, S.; BANDYOPADHYAY, S.; GANGULY, S. Bioeffects of microwave: a brief review. **Bioresource Technology**, v. 87, p. 155-159, 2003.

BARROS, F. G.; NERY, V. D.; DAMIANNOVIC, M. H. R. Z. Modificação da população microbiana de uma lagoa facultativa tratando efluente líquido de abatedouro de frango. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 17., 2002, Brasília. **Anais** [...]. Brasília: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002. p. 1-7.

BARROS, L. S. S. **Estudo do potencial do impacto ambiental de águas residuárias de abatedouros avícolas e suinícolas**. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP Jaboticabal, 2005. 122 p.

BARROSA, M. R. D. **Princípios fundamentais da transferência de calor**. Orientador: MORISHITA, H. Monografia (TCC em Engenharia) - Engenharia Naval e Oceânica, USP, Escola Politécnica, 2004. 48 p.

BASSOI, L. J. A industrialização avícola e a proteção ambiental: a questão das águas residuárias. In: Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícola, 1991, Campinas. **Anais** [...]. Campinas: FACTA, 1991. p. 25-36.

BETTIOL, W. Utilização de lodo de esgoto como fertilizante. In: Colóquio Regional sobre Matéria Orgânica do Solo, 1982, Piracicaba. **Anais** [...]. SP: CENA/USP e PROMOCET, 1982. p.227-232.

BEUX, S. **Avaliação do tratamento de efluente de abatedouro em digestores anaeróbios de duas fases**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2005. 99 p.

BORGES, F.; SELLIN, N.; MEDEIROS, S. H. W. Caracterização e avaliação de lodos de efluentes sanitário e industrial como biomassa na geração de energia. **Ciência & Engenharia**, v. 17, n. 1/2, p. 27-32, 2008.

BORGES, C. E. F.; BUCEK, E. U.; SILVA, L. T. G.; FINZER, J. R. D. Equilíbrio sólido-líquido dos solúveis das folhas frescas de nim (*Azadirachta indica*). In: Encontro de desenvolvimento de processos agroindustriais.1., 2017, Uberaba. **Anais** [...]. Uberaba: PPGEQ/UNIUBE, 2017, 2017. p. 1-4.

BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da Termodinâmica**. 8 ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2013. 725 p.

BRASIL. **Dispõem sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes**. Brasília: Lei n° 6.984, de 16 de dezembro de 1980. 4 p.

BRASIL. **Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura**, Brasilia: Decreto no 4.954 de 14/01/2004, 2004. 51 p.

BRASIL. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**, Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília: Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. 27 p.

BRASIL(a). **Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências**, Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília: Resolução CONAMA n. 375, de 29 de agosto de 2006. 32 p.

BRASIL(b). **Limites máximos de metais pesados tóxicos admitidos em fertilizantes minerais que contenham o nutriente fosforo, micronutrientes ou com fosforo e micronutrientes em mistura com os demais nutrientes**. Ministério da Agricultura, Brasília: Instrução Normativa SDA N 27, 05 de Julho de 2006 (Alterada pela IN SDA n°7, de 12/04/2016, republicada em 02/05/2016), 2006. 4 p.

BRASIL. **Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura**. Brasília: Instrução normativa n. 25, 23/06/2009, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. 17 p.

BRASIL. **Farmacopeia Brasileira**. 5. ed., v. 1, Brasília: ANVISA, 2010. 545 p.

BRASIL. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Ministério da Agricultura, Brasília: MAPA/SDA/CGAL, Secretaria de Defesa Agropecuária, 2014. 220 p.

BRASIL. **Separação dos limites de contaminantes para substratos, condicionadores e fertilizantes orgânicos: Anexo IV - Limites máximos de contaminantes admitidos em substrato para plantas e Anexo V - Limites máximos de contaminantes admitidos em**

fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo. IN 7 de 12 de Abril de 2016, Brasília: MAPA, 2016. 4 p.

BRASIL**. Farmacopeia Brasileira**. 6. ed., v. 1, Brasília: ANVISA, 2019. 873 p.

BRESOLIN, B. M. Z.; DALL'STELLA, J. K.; FONTOURA-DA-SILVA, S. E. Pesquisa sobre a bactéria Staphylococcus aureus na mucosa nasal e mãos de manipuladores de Alimentos em Curitiba/Paraná/Brasil. **Estud. Biolog**., v.27, n.59, p. 27-32, 2005.

BRILHANTE, O. M.; CALDAS, L. Q. D. A., coord. **Gestão e avaliação de Risco em saúde ambiental** [online]. FIOCRUZ. Rio de Janeiro: Scielo Books <http://books.scielo.org>, 1999. 155 p.

BUCEK, E. U.; SILVA JUNIOR, F. D. A. D.; JERÔNIMO, M. C.; VIEIRA, L. A.; MENDES, L. P. S.; FERNANDES, A. L. T. Irradiation of microwaves at rotative cavity in the microbial inactivation of organic sludge from poultry slaughterhouse. **Braz. J. of Develop.,** v. 5, n. 10, p. 18021-18026, 2019.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas.** Boletim Técnico 106. Governo de SP, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Pesquisa Agropecuária, Instituto Agronômico. Campinas (SP): Instituto Agronômico, 2009. 77 p.

CARVALHO, P. D. C. T. D. Utilização do lodo de esgoto na agricultura. In: Colóquio Regional sobre Matéria Orgânica do Solo, 1982, Piracicaba. **Anais** [...]. SP: CENA/USP e PROMOCET. 1982. p.223-226.

CAVALCANTE, M. A.; HAAG, R. Corpo negro e determinação experimental da constante de Planck. **Revista Brasileira de Ensino de Física,** v. 27, n. 3, p. 343-348, 2005.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**, São Paulo, 1999. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/>. Acesso em: 31 de Julho.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; CASTRO NETO, P. **Radiação solar**. Lavras, MG: UFLA, 20-- [SI]. 21 p.

DAVID, A. C.; TSUTIYA, M. T. Secagem térmica de biossólidos na região metropolitana de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Ambiental, 21., 2001, João Pessoa. **Anais** [...]. João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001. p. 1-7.

EMBRAPA. **Sistema de produção de banana para o Estado do Pará**. 2. ed. Manaus: Embrapa Mandioca e Fruticultura Sistema de Produção 9, 2014. 13 p.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Monografia (Especialização a Distância em Solos e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, 2005, 186 p.

FARID, M. M.; TAHER, B. J. Cyclic microwave thawing of frozen meat: experimental and theoretical investigation. **Chemical Engineering and Processing**, v. 40, 379-389, 2001.

FARKAS, J.; MOHANCSI-FARKAS, C. History and future of food irradiation. **Trends in Science and Technology**. v. 22, p. 121-126, 2011.

FEISTEL, J. C. (2011). **Tratamento e destinação de resíduos e efluentes de matadouros e abatedouros.** Dissertação (Mestrado em Sanidade Animal, Higiene e Tecnologia de Alimentos), Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás, Goiania 2011, 37 p.

FERNANDES JUNIOR, J.; MENDES, O. **Gerenciamento de efluentes de abatedouros avícolas Estudo de caso (Super Frango)**. Monografia (Graduação TCC em Resíduos) - Departamento de Engenharias-Engenharia Ambiental, Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2006. 19 p.

FERNANDES, N.; PAZ, M. F. d.; XAVIER, H.; NAZARI, M. T.; HOFMEISTER, P. P.; CORRÊA, L. B.; CORRÊA, É. K. C. Uso de secador contínuo aplicado a composto proveniente de lodo de estação de tratamento de efluente e resíduos agroindustriais. In: ENEEAmb e Fórum Latino Americano de Engenharia e Sustentabilidade, 14., 2016, Brasília/DF. **Anais** […]. Brasília/DF: Universidade de Brasília (UNB), v.13/Resíduos Sólidos, 2016. p. 1-8.

FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; HAANDEL, A. V.; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P. F. F. **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo:** Fundamentos do tratamento anaeróbio, cap. 2, Rio de Janeiro: EMBRAPA e PROSAB-ABES, p.29-52, 1999.

FORTUNY, M.; RAMOS, A. L. D.; DARIVA, C.; EGUES, S. M. D. S.; SANTOS, A. F.; Nele, M.; COUTINHO, R. C. C. Principais aplicações das microondas na produção e refino de petróleo. **Química Nova,** v. 31, n. 6, p. 1553-1561, 2008.

FRANCO, D. **Tratamento de resíduos**: ecodryer, 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Bf3R2J4SJt0>. Acessado em 06/08/2019.

GHELFI FILHO, H. Estudo comparativo do método das pesagens e o método gravimétrico padrão para a determinação do teor de umidade do solo. In: [SI], 1988, Piracicaba **Anais** [...]. Piracicaba: Esalq, 45 (parte 1), 1988. p. 99-108.

GUEDES, C. C.; MATOS, C. M.; MOUTINHO, C. G.; SILVA, C. S. Avaliação da utilização da espectrofotometria de UV/VIS na quantificação de antibióticos em extratos de leite de vaca. **Revista da Faculdade de Ciências da** Saúde da Universidade Fernando Pessoa de Porto, p. 232-243, 2009.

HUBNER, R. **Análise do uso da água em um abatedouro de aves**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC., 2001. 117 p.

INCROPERA, F. P. **Transferência de calor e de massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 657 p.

JOHNS, M. R. Developments in wastewater treatment in the meat processing industry: A review. **Bioresource Technology,** v. 54, n. 3, p. 203-216, 1995.

KERN, D. Q. **Processos de transferência de calor**. México: Compañia Editorial Continental, 1999. 981 p.

KOBYA, M.; SENTURK, E.; BAYRAMOGLU, M. Treatment of poultry slaughterhouse wastewaters by electrocoagulation. **Journal of Hazardous Materials,** v. 133, n. 1-3, p. 172-176, 2006.

KREITH, F.; BOHN, M. S.; TASKS, A. T. **Princípios de transferência de calor.** Revisão técnica de Flávio Maron Vichi e Maria Teresa Castilho Manson. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. 760 p.

MAÑAS, P.; PAGÁN, R. A Review: Microbial inactivation by new technologies of food preservation. **Journal of Applied Microbiology,** v. 98, n. 6, p. 1387-1399, 2005.

MINGHINI, I. **Avaliação qualitativa da água residuária de abatedouro de aves para fins de reúso em irrigação.** Dissertação (Mestrado em Ciências Agronômicas) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agronômicas Campus de Botucatu, SP, 2007. 67 p.

MIZUNO, M.; OBATA, S.; TAKAYAMA, S.; ITO, S.; KATO, N.; HIRAI, T.; SATO, M. Sintering of alumina by 2.45 GHz microwave heating. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 24, n. 2, p. 387-391, 2004.

NOGUEIRA, A. R. A., MORAES, D. P., FLORES, E. M. M., KRUG, F. J., KNAPP, G., NÓBREGA, J. A., BARIN, J. S., MESKO, M. F. Decomposições assistidas por radiação micro-ondas: Fundamentos sobre preparo de amostras orgânicas e inorgânicas para análise elementar. In: Workshop Sobre Preparo de Amostras, 6., 2006, Santa Maria. **Apostila** [...]. Santa Maria: UFSM, seção 8, 2006. p. 231-282.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana- de-açúcar. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p. 581-593, 2001.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R; ROSSETTO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um latossolo amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, p. 505-519, 2002.

ORDENES, M.; GUTHS, S.; LAMBERTS, R. Estimativa de propriedades termofísicas em campo usando modelos de transferência de calor e umidade. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 19-34, 2010.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. D. Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves. **Engenharia Agrícola,** v. 30, n. 3, p. 538-545, 2010.

PAGE, A. L.; LOGAN, T. J.; RYAN, J. M. Land Application of Sludge. **The Journal of Agricultural Science,** v. 111, n. 2, p. 411-412, 1987.

PASSIANOTO, C. C.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; LIMA, A. C. R.; LIMA, C. L. R. Microbial activity and biomass in soil affected by two tannery sludges additions. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 7, n. 2, p. 125-130, 2001.

PIGOTT, D. C. Foodborne Illness. **Emergency Medicine Clinics of North America,** v. 26, n. 2, p. 475-497, 2008.

PINHEIRO, C. H. R. **Zn, Ni, Cr, Cu, Fe S em lodo de esgoto: comportamento químico, adsorção e proposta de tratamento**. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade de São Paulo USP, São Paulo. 2007. 220 p.

POTTER, M. C.; SCOTT, E. P. **Ciências Térmicas: Termodinâmica, Mecânica Dos Fluidos e Transmissão de calor**. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 277 p.

RICA ALIMENTOS. **Rica Alimentos usa equipamento da Supergasbras para secagem de resíduos**, 2016. Disponível em: <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/rica-alimentos-usa-equipamento-da-supergasbras-para-secagem-de-residuos/20140910-174255-r022>. Acessado em 06/08/2019.

RICHARDSON, P. **Thermal technologies in food processing**. New York: CRC Press, 2001. 278 p

ROCHA, A.; ARAUJO, C. C. T.; SANTOS, D. C.; ROSA, E.; BALDISSERI JR, F. A. B.; MARINHEIRO, J. C.; MATTOS, L. P. V.; REYES, L. F.; LOPES, L. R.; MENÃO, M. C.; GARRAFA, P.; CHIACCHIO, R. G. M. D.; CANOVA, S. P.; KNOBI, T. **Fundamentos da microbiologia**. São Paulo: Rideel, 2016. 320 p.

ROMUALDO, M. L. **Modos de Aplicações de Zinco no Crescimento Inicial de Plantas de Milho e de Sorgo em Casa de Vegetação.** Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias e Veterinárias) - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho, Campos de Jaboticabal, São Paulo, 2008. 54 p.

SALMINEN, E. A.; RINTALA, J. A. Semi-continuous anaerobic digestion of solid poultry slaughterhouse waste: effect of hydraulic retention time and loading. **Water Research,** v. 36, n. 13, p. 3175-3182, 2002.

SANTOS, R. C. D. O.; BARBOSA FILHO, O.; GIORDANO, G. Proposta de um método racional para o dimensionamento de reatores de tratamento de esgotos por lodos ativados em bateladas para remoção de carga orgânica. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 153-161, 2006.

SANTOS, R. D. C. **Lodo de lagoa de tratamento de esgoto limpa solo agrícola**. Jornal da Unicamp, 2010. Disponível em: < http://www.revistatae.com.br/115-noticias >. Acesso em: 18/08/2019.

SARTER, S.; SARTER, G.; GILABERT, P. A Swot analysis of HACCP implementation in Madagascar. **Food Control**, v. 21, n. 3, p. 253-259, 2010.

SATIN, M. Use of irradiation for microbial decontamination of meat: situation and perspectives. **Meat Science**, v. 62, n. 3, p. 277-283, 2002.

SENA, R. F. D. **Avaliação da biomassa obtida pela otimização da flotação de efluentes da indústria de carnes para geração de energia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. 83 p.

SENA, R. F. D. **Tratamento de efluentes da indústria de processamento de carnes utilizando flotação por ar dissolvido e processos de oxidação avançada**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. 141 p.

SILVA, J. D. S.; RUFATO, S. **Secagem e Armazenagem de Café (Tecnologias e Custos)**: Determinação da umidade do café, cap. 5. 1. ed., Viçosa-MG: Jard Editora LDTA, 2001. p.133-148.

SILVA, W. P. D.; PRECKER, J. W.; SILVA, C. M. D. P. S. E.; SILVA, D. D. P. S. E.; SILVA, C. D. P. S. E. Medida de calor específico e lei de resfriamento de Newton: um refinamento na análise dos dados experimentais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 25, n. 4, p. 392-398, 2003.

SILVA JÚNIOR, F. D. A. D. **Ação das micro-ondas no lodo orgânico de abatedouros de aves**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química: Desenvolvimento de Processos Químicos Agroindustriais) - Universidade de Uberaba, Uberaba, 2018. 48 p.

SMIT, J. **Microondas**. São Paulo, SP: Erica, 1987. 135 p.

SUNADA, N. D. S. **Efluente de abatedouro avícula: Processos de biodigestão anaeróbia e compostagem**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2011. 87 p.

SUPERGASBRAS. Gás LP - Secador Ecodryer, 2013. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=iQGrBT_ZLLA>. Acessado em 06/08/2019.

TSUTIYA, M. T. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**: Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. Jaguariúna: EMBRAPA-Meio Ambiente. [Sl: s.n.], 2000.

UEMURA, E. H. **Coloração de Gram**. Registro ANVISA: 1097010-156, Pinhais/PR: LABORCLIN 170722 Revisão 12, 2018. 4 p.

VIEIRA, D. A. P.; FERNANDES, N. C. A. Q. **Microbiologia Aplicada,** Inhumas: IFG, Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012. 90 p.

ZANOTTO, D. L.; BELLAVER, C.; COLDEBELLA, A.; SCHEUERMANN, G. N.; CUNHA JUNIOR, A.; AJALA, L. C. **Flotado de efluentes de frigorífico de suínos e aves**: Composição química. Concórdia-SC: EMBRAPA Comunicado Técnico 440, 2006. 3 p.

ANEXO: certificado ISSO 9001:2015 – Empresa Labfert



FUNDAÇÃO VANZOLINI

CERTIFICADO DE SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE

A FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI

certifica que a organização

LABFERT ANÁLISES LTDA.
Rua José Bonifácio, 1067 – Uberaba – MG – Brasil
Rua Comendador Correia Júnior, 921 – Paranaguá – PR – Brasil

para o seguinte escopo:

Prestação de serviços de ensaios físico-químicos, por via úmida e instrumental, em fertilizantes agrícolas, insumos, produtos intermediários nas unidades de Paranaguá/PR e Uberaba/MG (Matriiz), nas suas empresas associadas Lab Fertil Nordeste em Candeias e Labfert Análises em Camaçari; e em solos, folhas de plantas, ambiental, alimento animal, testes em bancada e semicontínuos, em Uberaba/MG (Matriz); atendendo os requisitos dos clientes, legais e das partes interessadas, pertinentes, como apropriado. Todas as empresas associadas são integradas em sua gestão e processos auxiliares, a partir do escritório central de Uberaba.

implementou e mantém um

Sistema de Gestão da Qualidade

Através de auditoria da Fundação Vanzolini foi comprovado que este Sistema de Gestão cumpre os requisitos da norma:

NBR ISO 9001: 2015

Sistemas de Gestão da Qualidade - Requisitos

Este certificado é válido até: 05 de fevereiro de 2022

Número do certificado: SQ-20855

São Paulo, 22 de fevereiro de 2019

PARTNER OF IQNet THE INTERNATIONAL CERTIFICATION NETWORK

FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI
Rua Camburiú, 255
Alto da Lapa - São Paulo - SP - Brasil

Gestão da Qualidade OCS 0001

MEMBER OF MULTILATERAL RECOGNITION ARRANGEMENT IAF

SQ-M00937

Para esclarecimento a respeito do escopo e da aplicabilidade dos requisitos, consultar a organização certificada.
A validade deste documento poderá ser confirmada em:
http://www.vanzolinicert.org.br/validade/

PAPEL 100% NATURAL, 25% RECICLADO