

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

JUAN CAMILO PIRES SALCEDO RESTREPO

**CODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS SUÍNOS E CARÇAÇAS
DESIDRATADAS DE SUÍNOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FRANCISCO BELTRÃO
2016

JUAN CAMILO PIRES SALCEDO RESTREPO

**CODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS SUÍNOS E CARÇAÇAS
DESIDRATADAS DE SUÍNOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Bortoli

Coorientadora: Profa. MSc. Priscila Soraia da Conceição Ribeiro

FRANCISCO BELTRÃO
2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Francisco Beltrão



Curso de Engenharia Ambiental

TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC2

**CODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS SUÍNOS E CARÇAÇAS
DESIDRATADAS DE SUÍNOS**

por

Juan Camilo Pires Salcedo Restrepo

Trabalho de Conclusão de Curso 2 apresentado às 13 horas e 00 min., do dia 17 de junho de 2016, como requisito para aprovação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

Marcelo Bortoli

Coordenador do Curso de Engenharia
Ambiental

Marcelo Bortoli

Professor Orientador

Suzana Costa Wrublack

Membro da Banca

Priscila Soraia da Conceição Ribeiro

Professor Coorientador

Denise Andréia Szymczak

Professor do TCC2

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.”

AGRADECIMENTO

A Deus, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais Dulce Pires de Restrepo e Francisco José Salcedo Restrepo, em especial meus falecidos avós Rubens Gomes Pires e Catarina Bernardo Pires e toda minha família pelo carinho, amor, incentivo e apoio incondicional recebido durante toda a vida.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Francisco Beltrão, professores, servidores e comunidade acadêmica pela oportunidade de capacitar-me, aperfeiçoar-me e por permitir-me realizar o curso de graduação.

A EMBRAPA Suínos e Aves, ao orientador de estágio Airton Kunz e à todo o grupo de estudos, por possibilitar que eu desenvolvesse meu Trabalho de Conclusão de Curso em suas instalações, pela oportunidade de estágio, por orientar-me durante meus estudos e pesquisas, pela amizade, pela transmissão de experiência e ciência que cresceram em minha vida acadêmica e profissional.

Ao Professor Marcelo Bortoli, pela orientação, por se mostrar não apenas como um excelente docente, mas também como amigo, pelo suporte técnico-científico, por suas correções e pelo incentivo para a execução do projeto.

À Professora Priscila Soraia da Conceição Ribeiro, pela coorientação, por se mostrar não apenas como uma excelente docente, mas também como amiga, além de oferecer suporte técnico-científico, incentivo para a execução deste projeto, pelas suas correções e por fazer parte da minha banca de Trabalho de Conclusão de Curso.

A professora Suzana Costa Wrublack, por além de ser uma excelente docente, me auxiliar, incentivar e se dispor durante momentos de necessidade durante minha vida acadêmica, obrigado pela amizade e por ter feito parte da minha banca de Trabalho de Conclusão de Curso.

A professora Denise Szymczak, não apenas por ser uma excelente docente, porém por auxiliar-me e orientar-me de maneira ímpar sempre que surgissem dúvidas ou problemas não só em suas disciplinas mas também durante a fase acadêmica em geral.

Aos amigos Ícaro Alves, Willian Felipe, Maico Chiarelto, Bianca Oliveira, Lucas Gustavo, Bruno Tuchlinowicz, Regiane Strapazon e Elis Antes, Henrique

Marques, Leonardo Campazi, Frederico Gorla, Raul Casaut, Rafael Molina, Daniel Molina, Gian Silvestre, Diego Freitas que sempre fizeram parte de minha formação, apoiando e incentivando e com certeza continuarão presentes em minha vida!

Juan Camilo Pires Salcedo Restrepo

RESUMO

RESTREPO, Juan Camilo Pires Salcedo. Codigestão anaeróbia de dejetos suínos e carcaças desidratadas de suínos. 2016. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2016.

Devido ao desenvolvimento e ao crescimento demográfico, as buscas por recursos naturais e insumos se tornaram cada vez mais explorados e demandados. O alimento, derivado da agropecuária, tende a acompanhar o desenvolvimento exponencial, tanto em âmbito nacional, para suprimento da população brasileira, quanto internacional, movimentando o comércio e a logística de exportações para diversas nações e continentes. Como o estudo prévio e o planejamento voltado ao desenvolvimento socioeconômico são realizados de forma falha, as problemáticas econômicas e ambientais tornam-se cada vez mais evidentes. Os passivos ambientais provindos da produção agropecuária começam a atingir grandes proporções e logo tomam o conhecimento dos órgãos públicos. Estes necessitam ser amenizados ou resolvidos de forma sustentável e planejada, a fim de atender às normas, legislações, políticas e tratados ambientais vigentes no país e no exterior. Levando em consideração a crise energética nacional, existe a possibilidade de conciliar e amenizar o impacto ambiental relacionado à suinocultura, de forma ecologicamente correta, possibilitando a geração de energia elétrica renovável. A codigestão anaeróbia dos dejetos e de carcaças suínas foi realizada com o auxílio de biorreatores e pode ter como produto final o biogás e os biofertilizantes, sendo utilizados como geração de energia térmica ou elétrica e aplicados na lavoura após tratamentos adequados. Primeiramente, com o auxílio de um desidratador, as carcaças de suínos foram pré-tratadas e processadas. Em seguida foram realizados ensaios em batelada de potencial metanogênico específico referentes à codigestão da carcaça e dos dejetos do animal, juntamente com análises dos diferentes substratos antes e depois da incubação dos testes. Os ensaios referentes à codigestão de carcaça sem dejetos suínos (520-560 Nml / gSV_{adicionado}.) resultaram em uma maior produção de metano em relação aos ensaios da codigestão de carcaça com dejetos suínos (120-150 Nml / gSV_{adicionado}.), porém, o sistema torna-se mais instável e com uma concentração mais elevada de ácidos orgânicos voláteis e nitrogênio amoniacal, podendo levar a inibições. Por fim, a matéria orgânica antes sem utilidade ou valor financeiro, pode ser inserida no mercado de créditos de carbono ou após os devidos processos gerar energia elétrica de forma limpa e renovável, ou ainda retornar ao solo na forma de biofertilizante, fechando um ciclo sistêmico e sustentável.

Palavras-chave: biodigestão anaeróbia, resíduos de suinocultura, desidratação, passivos ambientais, sustentabilidade, energia renovável.

ABSTRACT

RESTREPO, J. C. P. S. Anaerobic Codigestion of dewatered swine carcass and swine manure. 2016. 56 p. Final Project - Environmental Engineering, Federal University of Technology Paraná. Francisco Beltrão, 2016.

The search for natural resources and inputs have become increasingly exploited due to development and demographic growth. Food, derived from farming, tends to follow the exponential development at national level, to supply the Brazilian population, and at international level, to keep the moving of the exports trade and logistics to diverse countries and continents. As the socioeconomic development previous study and planning are conducted in a failure manner, it begins to emerge environmental economic problems. Environmental liabilities from agricultural production are starting to achieve large proportions and soon it comes to the knowledge of public organizations, which needs to mitigate or solve these problems in a sustainable and planned way, in order to fulfill the standards, laws, policies and current environmental treaties in the country and abroad. Considering the national energy crisis, there is the possibility to concile and mitigate the environmental impact related to swine farming in a sustainable manner, allowing the generation of renewable electricity. The anaerobic codigestion of manure and swine carcasses was performed with assistance of bioreactors, and may has as its products biogas and biofertilizers. Biogas can be used to generate of thermal or electric energy, while biofertilizers can be applied in farming, after appropriate treatments. Initially, using a dehydrator, the carcasses were pretreated and processed. Subsequently, batch tests on specific methanogenic potential of codigestion of carcass and animal manure were conducted, along with analysis of different substrates before and after the tests incubation. The tests regarding carcass codigestion without swine manure (520-560 Nml / gSV_{adicionado}.), provided higher production of methane when compared to the experiments of carcass codigestion with swine manure (120-150 Nml / gSV_{adicionado}.). However, the system becomes more unstable without swine manure, presenting a higher concentration of volatile organic acids and ammonia, which may lead no inhibition. Finally, the organic matter, which was considered useless or without financial value, can be added in the carbon credit market, generate clean energy after adequate procedures and eventually return to the soil as biofertilizer, closing a systemic and sustainable cycle.

Keywords: anaerobic digestion, swine farming waste, dehydration, environmental liabilities, sustainability, renewable energy.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA SUINOCULTURA NO BRASIL	15
3.2 SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE SUÍNOS	15
3.3 SUINOCULTURA E PASSIVOS AMBIENTAIS	20
3.4 DIGESTÃO ANAERÓBIA	20
3.4.1 Hidrólise	22
3.4.2 Acidogênese.....	23
3.4.3 Acetogênese	23
3.4.4 Metanogênese.....	24
3.4.4.1 Sulfetogênese	25
3.4.5 Pressão parcial de hidrogênio	25
3.4.6 Fatores de inibição	26
3.4.7 Parâmetros do processo de produção do biogás	27
3.4.7.1 pH.....	27
3.4.7.2 Alcalinidade	28
3.4.7.3 Temperatura	29
3.4.7.4 Ácidos orgânicos voláteis	30
3.4.8 Potencial Bioquímico de Metano (PBM)	31
4 MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1 CODIGESTÃO ANAERÓBIA.....	33
4.1.1 Coleta e caracterização das amostras	33
4.1.2 Preparação e utilização do inóculo e dos substratos	37
4.1.3 Métodos analíticos	38
4.1.3.1 Alcalinidade	38
4.1.3.2 Nitrogênio amoniacal (N – NH ₃)	38
4.1.3.3 Potencial Hidrogeniônico.....	39
4.1.3.4 Relação AI/AP	39

4.1.3.5 Sólidos Totais, Fixos e Voláteis.....	40
4.1.3.6 Determinação de proteínas - Nitrogênio em amostras sólidas pelo método de combustão (NTD)	40
4.1.3.7 Determinação de lipídios - Extrato Etéreo (EE).....	40
4.1.3.8 Carbono e nitrogênio em amostras sólidas por combustão (CHN)	41
4.1.3.9 Potencial metanogênico específico	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1 CODIGESTÃO ANAERÓBIA.....	44
5.1.1 Caracterização e análise das amostras.....	44
5.1.2 Produção metanogênica específica	46
6 CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Volume de dejetos suínos de acordo com o sistema de produção	16
Tabela 2 - Taxa de mortalidade de acordo com a cadeia produtiva de suínos	17
Tabela 3 - Inibidores e sua concentração tóxica em processos de digestão anaeróbia	27
Tabela 4 - Desenvolvimento e situações relacionadas à relação AI/AP durante a DA	29
Tabela 5 - Definição das análises de caracterização dos substratos em estudo	36
Tabela 6 - Caracterização das amostras.....	45
Tabela 7 - Valores correspondentes às análises do digestato após o processo de DA	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.	22
Figura 2 - Interior do desidratador [1]; Visão externa do desidratador [2]; Instruções básicas de operação [3]; Motor de rotação [4].	34
Figura 3 - Fotografia das carcaças após o processo de desidratação.	35
Figura 4 - Visão externa no Processador de alimentos [1]; Carcaça desidratada durante três horas, após o processamento [2]; Carcaça desidratada durante nove horas, após o processamento [3].	36
Figura 5 - Banho térmico automatizado (<i>Julabo</i>) [1]; CSTR – (do inglês <i>Continuous Stirred-Tank Reactor</i>) [2].	37
Figura 6 - Imagem do aparelho AMPTS.	42
Figura 7 - Velocidade específica e produção cumulativa de metano do digestato A e B.	47
Figura 8 - Velocidade específica e produção cumulativa de metano dos digestatos A, B, C, D e E.	48

1 INTRODUÇÃO

A carne suína é considerada uma das principais fontes de obtenção de proteína, com uma produção aproximada de 100 milhões de toneladas por ano. O Brasil se enquadra como o quarto maior país produtor e exportador, com 3,2% da produção e 12,5% das exportações, tendo uma grande inserção no mercado internacional. O sucesso no exterior se deve a mudanças organizacionais e na adoção de tecnologia nos setores dos fornecedores de insumos, dos produtores rurais, nas agroindústrias, no atacado, varejo e por parte dos consumidores (MIELE et al., 2011).

O aumento do consumo da carne suína deve-se ao excessivo e desordenado crescimento populacional, tanto a nível nacional como para exportação. Conseqüentemente, o número de abates desse respectivo animal tende a crescer. Um dos principais motivos deste crescimento está atrelado ao avanço da suinocultura industrial, baseada em criação intensiva, denominada de sistema de produção de animais confinados (SPAC's) (KUNZ; OLIVEIRA, 2006).

Surgem então, nesse cenário, os passivos ambientais correspondentes à emissão de gases (metano), à disposição final de resíduos (dejetos e carcaças de animais mortos provenientes da suinocultura) e ainda problemáticas envolvendo a saúde pública quanto à patogenicidade atuante durante toda a cadeia produtiva de suínos.

O metano pode ser gerado, tanto no trato gastrointestinal de animais, quanto no acúmulo de seus dejetos, gerando por fim um efluente capaz de impactar negativamente o solo, corpos hídricos e atmosfera.

Os biorreatores podem ser encontrados em propriedades rurais ou em plantas industriais e possuem a capacidade de degradar e transformar um efluente nocivo ao meio ambiente, em gases e em um digestato parcialmente estabilizado.

As carcaças provindas da suinocultura são geralmente dispostas em lugares indevidos ou de forma incorreta, ou ainda recebem tratamentos inadequados tanto em propriedades rurais quanto em agroindústrias, devido às legislações falhas aliadas à falta de fiscalização,

As indústrias suinícolas, órgãos públicos e as unidades produtoras reconhecem a necessidade de alternativas de tratamento e disposição final de

carcaças. Estas opções devem se aliar a investimentos de baixo capital e a um destino ambientalmente correto.

Existem, atualmente, algumas tecnologias capazes de tratar e processar as carcaças de atividades agropecuárias. Os tratamentos, como a compostagem, digestão anaeróbia, desidratação e incineração, visam estabilizar e sanitizar estes resíduos, reduzindo ou até eliminando os riscos de periculosidade, característicos da matéria orgânica.

Visando otimizar a produção de metano, algumas pesquisas e trabalhos sugerem a codigestão de carcaças e dejetos suínos. Uma vez que, a digestão da carcaça do animal, devido sua composição (elevado teor de proteínas e lipídios), pode causar instabilidade durante algumas fases da digestão anaeróbia. O dejetos é utilizado como substrato tamponante, proporcionando uma maior estabilidade do sistema.

Tendo em vista que o país passa por uma crise energética e necessita de soluções ambientalmente corretas e sustentáveis, a tendência das concessionárias de energia é buscar alternativas e inovações no setor de energias renováveis. A energia provinda do processamento da biomassa torna-se um dos recursos plausíveis para tal problemática.

O presente trabalho propôs a codigestão de resíduos de carcaças desidratadas e dejetos suínos como alternativa para o tratamento desses resíduos, possível geração de energia através da utilização do biogás gerado durante o processo e uma pré-sanitização da carcaça suína.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve como objetivo geral estudar a produção de metano e a codigestão anaeróbia de dejetos suíno com carcaça suína após o processo de desidratação.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os resíduos de carcaças e dejetos de suínos com análises físico-químicas;
- Avaliar a influência da adição de resíduos de carcaças de suínos na produção de metano durante a codigestão anaeróbia com o dejetos suíno;
- Avaliar a influência da desidratação dos resíduos de carcaça de suínos no potencial metanogênico específico durante a codigestão, através de ensaios realizados em batelada.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA SUINOCULTURA NO BRASIL

A suinocultura brasileira, quando comparada aos demais ramos do agronegócio no país, teve grande crescimento durante a virada do século XX. Isto se deve aos indicadores socioeconômicos, como os dados correspondentes às exportações, comércio mundial, setor de empregos, dentre outros. O mercado referente à cadeia suinícola passa a adotar uma característica mais competitiva, visando uma produção intensiva, ou seja, a fase de criação anteriormente efetuada ao ar livre, agora se realiza em sistemas confinados (GONÇALVES, 2006).

Mesmo tendo um consumo de carne suína inferior ao proveniente de aves e de bovinos, o comércio relacionado à suinocultura continua ativo e atrativo, consequência do intenso crescimento populacional e do aumento de seu poder aquisitivo (MIELE et al., 2011).

A produção brasileira de carne suína atingiu, no ano de 2015, um valor aproximado de 3.643 mil toneladas. A suinocultura ocorre em todas as regiões do Brasil, concentrando sua maior produção na região Sul, responsável por 69,56% do abate de suínos, seguida pela região Sudeste (16,15%), Centro-oeste (14,24%), Nordeste (0,05%) e Norte (0,002%) (ABPA, 2016).

3.2 SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE SUÍNOS

No setor de criação de suínos, existem diferentes cadeias produtivas. Estas podem se dividir em unidades ao ar livre, de confinamento e mistas, subdividindo-se ainda em sistemas de produção de Ciclo Completo (CC), ou produção distribuída em diversas sub-unidades. Quando ocorre o agrupamento dos animais na fase de produção, surge a possibilidade de que determinadas unidades consigam se especializar nas diferentes fases produtoras, como Unidades Produtoras de Desmame (UPD), Unidades Produtoras de Leitões (UPL), Unidades de Crechário

(UC) e Unidades de Terminação (UT) (MIELE; MIRANDA, 2013; AMARAL et al., 2016).

Devido ao modelo intensivo de produção aplicado à suinocultura, sistema de produção de animais em confinamento (SPAC), torna-se evidente concentração dos dejetos e rejeitos em áreas cada vez menores. Estes resíduos possuem grande potencial poluente caso não sejam devidamente tratados e dispostos, podendo contaminar o solo, sistemas hídricos e a atmosfera (OLIVEIRA, 1993).

Os volumes de dejetos suínos gerado estão diretamente relacionados ao peso e a idade do animal, ao tipo de alimentação, a quantidade de água utilizada para dessedentação e limpeza das baias e ao tipo de bebedouro utilizado (OLIVEIRA, 1993). Na Tabela 1, evidencia-se o volume de dejetos de acordo com os sistemas de produção.

Tabela 1 - Volume de dejetos suínos de acordo com o sistema de produção

Modelo de sistema de produção de suínos	Volume de dejetos (L . animal⁻¹ . dia⁻¹)
Ciclo completo (CC)	47,1
Unidade de produção de leitões (UPL)	22,8
Unidade de produção de desmamados (UPD)	16,2
Crechários (CR)	2,3
Unidade de terminação (UT)	4,5

Fonte: Adaptado da IN 11, anexo 7, (2014).

Os dejetos suínos são constituídos, por urina, fezes, resíduos de drogas antibióticas, vestígios de ração e microrganismos patogênicos, dando origem, por fim, ao efluente bruto (IN 105.006, 2009).

Quanto à disposição final dos dejetos referentes à suinocultura, existem algumas legislações e instruções normativas que devem ser seguidas, como a

resolução CONAMA nº 357/2005*, resolução CONAMA nº 430/2011**, IN nº 105.006/2009***, tanto em âmbito federal, quanto estadual.

Dentre as principais causas de mortalidade do animal que habita uma granja comercial estão as vias naturais, doenças bacteriológicas ou virais, problemas locomotores ou ainda durante o desenvolvimento do suíno (SANZ et al., 2007). De acordo com a ABCS (2014), a taxa de mortalidade de suínos, embasada na produção nacional de diferentes setores do sistema de produção, pode ser visualizada na Tabela 2.

Tabela 2 - Taxa de mortalidade de acordo com a cadeia produtiva de suínos

Sistema de produção de suínos	Mortalidade (% . ano⁻¹)
Ciclo completo (CC)	5,7
Unidade produtora de desmamados (UPD)	7
Crechário (CR)	3,2
Unidade de terminação (UT)	4

Fonte: Adaptado da ABCS, 2014.

Além dos dejetos gerados na criação de suínos, evidencia-se outro passivo ambiental: as carcaças desses animais. Quando não recebem o tratamento ou uma disposição final incorreta, podem impactar o meio ambiente de forma negativa. O item 5.3.5 da IN 105.006/2009, “Animais mortos”, cita brevemente que se deve utilizar de tecnologias específicas de disposição final, porém não deixa claro quais seriam tais tecnologias e ainda permite a queima das carcaças a céu aberto em caso de epizootias ou após sacrifício dos animais perante as autoridades sanitárias responsáveis.

* 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.

** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

*** Estabelecer as características dos empreendimentos, critérios - inclusive locais e técnicos, procedimentos, trâmite administrativo, níveis de competência e premissas para o Licenciamento Ambiental de Empreendimentos de Suinocultura.

Segundo os artigos 6 e 7 da lei nº 12.305/2010*, ressaltam-se alguns princípios e objetivos que podem ser aplicados à disposição final das carcaças provindas de suinocultura como: a visão sistêmica dos resíduos sólidos, considerando as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública; a ecoeficiência energética aliada ao desenvolvimento sustentável devem satisfazer as necessidades humanas, provendo qualidade de vida e reduzindo os impactos ambientais mediante os recursos naturais; o resíduo sólido deve ser reutilizado e reciclado, agregando valor econômico e social, reconhecido por gerar trabalho e renda.

Deve-se prezar pela saúde pública e qualidade ambiental. A redução na geração e o tratamento destes respectivos resíduos devem ser diretrizes nesta atividade agropecuária, bem como a disposição ambientalmente correta das carcaças (BRASIL, 2010).

Um das principais soluções para transformar ou eliminar as carcaças suínas são: a compostagem, a desidratação, unidades de transformação de subprodutos, digestão anaeróbia e incineração.

Utilizando-se da compostagem, é possível atingir um composto estável e sanitizado, eliminando aproximadamente 99,9% dos microrganismos patogênicos nocivos e possibilitando, por fim, sua utilização no setor agrícola como condicionador do solo (PIANA, 2009). O composto maturado, após alcançar elevadas temperaturas (fase termofílica 45-65°C (SANTOS, 2007)), pode apresentar um substrato livre de ovos de helmintos, *Salmonella* sp. e vírus entéricos (HECK et al., 2013).

Segundo Anderson (2006), a massa de rejeito, após passar por um tratamento adequado (aquecimento 115-145°C, centrifugação, compactação e secagem), torna-se um insumo rico em proteínas que pode ser destinado à alimentação de aves, suínos, bovinos, dentre outros animais.

A digestão anaeróbia é responsável por transformar, com o auxílio de microrganismos anaeróbios, a matéria orgânica em um substrato estabilizado e em gases capazes de produzir energia elétrica. Porém, o efluente resultante da biodigestão, pode apresentar características patológicas, elevadas concentrações de ácidos orgânicos voláteis e inibições do processo relacionadas às elevadas concentrações de amônia livre e demais compostos ou gases tóxicos à microbiota

* Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

presente no biorreator, que poderão interferir ou até inibir a digestão anaeróbia (MASSÉ et al., 2008; RAJAGOPAL et al., 2014).

A desidratação (<300 °C durante 4 horas (DE BONA, 2016)), ou a pasteurização (55-70 °C durante 30 e 60 minutos (SAHLSTROM et al., 2008)), quando utilizadas como pré-tratamento de carcaças e rejeitos resultantes da suinocultura ou demais atividades agropecuárias, tem por finalidade realizar a sanitização destes detritos, para que em seguida possam ser tratados e dispostos de maneira e em locais adequados.

De acordo com a legislação europeia (Animal By-products Regulation - ABPR, 1069/2009/EUROPEAN COMMISSION, 2009) que dispõe sobre o uso de subprodutos animais, estes resíduos devem ser classificados anteriormente à sua manipulação, processamento, tratamento ou disposição final, a fim de prevenir ou amenizar os riscos à saúde humana e animal.

Normalmente os microrganismos extremófilos hipertermofílicos, como tardigradas, bactérias e arqueas podem resistir a ambientes com elevadas temperaturas (80-120°C), de acordo com seus mecanismos de defesa e adaptação (HENGHERR et al., 2009; STETTER, 1999; HUBER; STETTER, 1998; HUBER et al., 2000). Logo, os tratamentos térmicos devem ser escolhidos de acordo com a microbiota específica que se deseja trabalhar.

Durante o processo de incineração de carcaças provenientes de atividades pecuárias, as temperaturas de operação podem atingir elevadas temperaturas de operação (500-1000°C) e, conseqüentemente, eliminando qualquer tipo de agente patogênico. Ao final do tratamento, restam apenas os sólidos fixos (formas de carbono inorgânico) e uma concentração elevada de fósforo e potássio. Com o aumento do pH, de acordo com o aumento da temperatura, uma possível solução para disposição final dos resíduos incinerados é a calagem de solos com características ácidas (ZHANG et al., 2001).

De acordo com a NBR nº 10.004 ABNT*, as carcaças de suínos, referentes às unidades de terminação, ou conseguintes de patogenias e sacrifícios relacionados exigências de autoridades sanitárias, são classificados como resíduos da classe I, ou seja, resíduos perigosos.

* Institui a Norma Brasileira Regulamentadora nº 10.004/2004, que envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

Deve-se atentar periodicamente às características do resíduo, caso, durante uma amostragem, seja detectado um alto risco de periculosidade, o técnico deve alertar o responsável pelo gerenciamento do resíduo, solicitando, se necessário, entidades especializadas em sua manipulação (NBR nº 10.007, 2004**).

Tais resíduos podem ser encarados como substratos, na forma de biomassa, para digestão anaeróbia, destacando-se, além de uma técnica de disposição final, a possibilidade de agregação de valor a cadeia produtiva (MATOS, 2005).

3.3 SUINOCULTURA E PASSIVOS AMBIENTAIS

A complexa logística de conversão dos resíduos provindos da suinocultura em matéria com pouco poder econômico agregado, começa a influenciar de forma negativa às unidades de transformações e processamento desse resíduo. Por esse motivo, os agricultores, através de técnicas não apropriadas, acabam dispendo os animais que morrem na propriedade durante a fase de produção (as carcaças de suínos) de forma inadequada, causando impactos negativos no meio ambiente, podendo contaminar diversos ecossistemas (MASSÉ et al., 2008).

Visando o enfoque da problemática dos animais mortos, surge a opção de inserir as carcaças processadas de suínos em biorreatores de digestão anaeróbia, a fim de produzir biogás, que pode ser utilizado como combustível, seja para a produção de energia elétrica ou energia térmica, e eliminar os vetores e microrganismos responsáveis por atribuir a esse resíduo a característica de patogenicidade. Seria necessário um baixo investimento relacionado à aquisição de equipamentos voltados a moagem e desidratação de carcaças de suínos dos diversos sistemas de produção (MASSÉ et al., 2008).

3.4 DIGESTÃO ANAERÓBIA

** Institui a Norma Brasileira Regulamentadora nº 10.007/2004, responsável por fixar os requisitos exigíveis para amostragem de resíduos sólidos.

A Digestão Anaeróbia (DA) consiste na transformação parcial da matéria ou substratos orgânicos residuais, provindos de dejetos animais relacionados à pecuária em geral (bovinocultura, suinocultura e avicultura); estações de tratamento de água e efluentes; aterros sanitários; reatores, dentre outros, em metano e demais gases resultantes das atividades microbiológicas, em atmosferas deficientes em oxigênio (CHERNICHARO, 2007)

A produção de biogás, resultante de reações metabólicas microbianas, pode variar de acordo com a temperatura, pois esses organismos possuem valores ótimos de desenvolvimento. Essa microbiota tende a ocorrer naturalmente em ambientes onde há presença de matéria orgânica com elevado teor de água e baixas concentrações de oxigênio dissolvido (LUSK, 1998).

O processo de formação dos biogases é resultante da simbiose de diversos tipos de microrganismos, estes, por sua vez, se dividem em hidrolíticos, acidogênicos, acetogênicos, metanogênicos (acetoclásticos e hidrogenotróficos) e sulforedutores, sendo que cada um atuará em sua etapa específica da digestão anaeróbia (LUSK, 1998).

A digestão anaeróbia aplicada à carcaças de suinocultura pode produzir uma grande quantidade de biogás, devido às concentrações de proteínas e lipídios. Porém o sistema pode ser afetado negativamente através da inibição das bactérias acetogênicas e arqueas metanogênicas devido às elevadas concentrações de ácidos orgânicos de cadeia longa presentes no biodigestor, resultando em uma baixa eficiência na produção de metano (HWU, 1998).

É possível evidenciar as etapas do processo de síntese do biogás e os organismos responsáveis por cada uma (Figura 1).

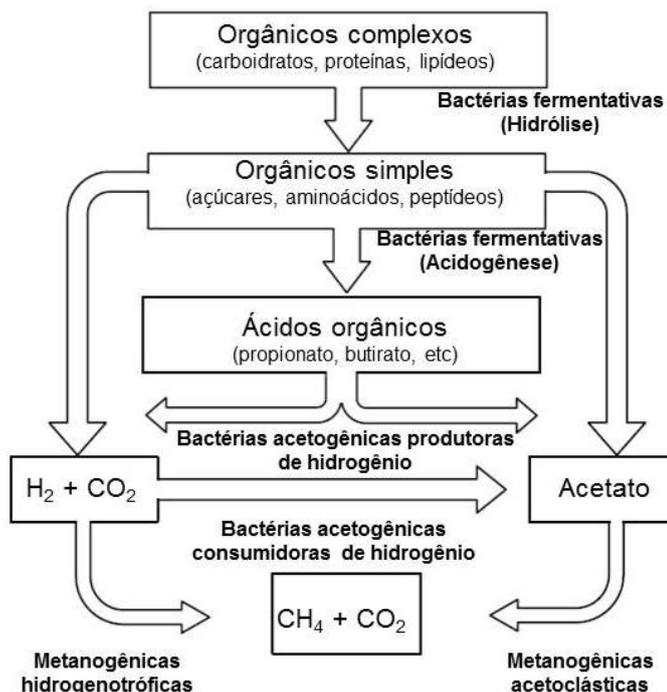


Figura 1 – Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.

Fonte: adaptado de Chernicharo (2007, P. 33)

3.4.1 Hidrólise

Na primeira etapa da digestão anaeróbia, as bactérias fermentativas são responsáveis por hidrolisar a matéria orgânica insolúvel (celulose), transformando-a em monômeros solúveis, partículas menores (glicose, aminoácidos e ácidos-orgânicos), através da secreção de enzimas (lipases, proteases, celulasas e amilases). Em alguns processos específicos, esta etapa inicial pode ser catalisada tanto por ácidos quanto por bases (RISE-AT, 1998).

Existem alguns fatores que podem influenciar no processo de hidrólise de uma determinada massa de resíduo, como temperatura operacional, tempo de residência e a proporção da biota microbiana (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

3.4.2 Acidogênese

As bactérias fermentativas são responsáveis por agregar em suas células os monômeros solúveis, produtos da hidrólise, convertendo-os assim em compostos orgânicos simples, ácidos, álcoois e compostos minerais. As principais moléculas resultantes das reações metabólicas microbianas são o ácido propiônico, ácido butírico, ácido acético, ácido láctico, ácido valérico, dióxido de carbono (CO_2), ácido sulfídrico (H_2S), hidrogênio (H_2), além da formação de novas células microbianas. Devido à diversidade e quantidade de ácidos sintetizados nesta etapa, a mesma pode denominar-se com o respectivo nome (VERSIANI, 2005).

Os microrganismos que atuam sobre a fermentação acidogênica, geralmente são anaeróbios estritos. Porém, entre estes, existe a possibilidade de, aproximadamente, 1% da presença de bactérias facultativas, com um metabolismo que se utiliza de reações de oxidação para sintetizar o substrato. Esta situação singular torna-se significativamente importante, pois auxilia na proteção das bactérias anaeróbias estritas, evitando que estas entrem em contato com determinada quantidade de oxigênio no respectivo ambiente (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

3.4.3 Acetogênese

Nesta etapa, os produtos necessários resultantes são o acetato (CH_3COO^-), hidrogênio (H_2) e o gás carbônico (CO_2). Estes serão utilizados pelos microrganismos metanogênicos para a obtenção de metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2). Logo os produtos intermediários, como o butirato e o propionato, necessitam ser metabolizados através dos microrganismos acetogênicos, para que, posteriormente, sejam convertidos nos compostos necessários para a próxima etapa, a metanogênese (VERSIANI, 2005).

Sabe-se ainda que, no mínimo, 50% da matéria orgânica carbonácea biodegradável se transformam nos produtos intermediários (CHERNICHARO, 1997)

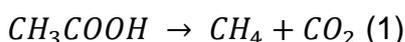
e 70% da demanda bioquímica de oxigênio (DQO) é convertida em ácido acético (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

3.4.4 Metanogênese

Por fim, na última etapa da digestão anaeróbia, as arqueas são os organismos responsáveis pela produção do metano. Estes microrganismos possuem uma reduzida taxa de crescimento e são considerados mais sensíveis quanto à presença de substâncias atípicas e tóxicas a seu metabolismo, à presença de elevadas concentrações de ácidos orgânicos, às intempéries e alterações ambientais como, oscilações bruscas de temperatura e variações do pH (VERSIANI, 2005).

O processo de geração do biogás pode ocorrer por duas vias. Na metanogênese acetotrófica, o ácido acético é reduzido e os produtos resultantes são metano e gás carbônico. Por outro lado, na metanogênese hidrogenotrófica, são produzidos metano e água, através da redução do gás carbônico combinado ao hidrogênio. Para fins de melhor entendimento e visualização, seguem as reações 1 e 2 (VERSIANI, 2005).

Metanogênese acetotrófica:



Metanogênese hidrogenotrófica:



A porção de metano formado a partir da redução do ácido acético chega a 72%. Por ser um gás de baixa solubilidade em água, o metano volatiliza para a atmosfera, enquanto parte do gás carbônico se solubiliza, podendo alterar o pH do meio aquoso. Existe ainda a possibilidade da formação de diferentes compostos, que podem afetar diretamente a produção do biogás, como gases derivados de enxofre (MCCARTY, 1964).

Só será possível obter um biogás de boa qualidade, a partir do momento que os microrganismos sejam acondicionados em um ambiente que consiga assemelhar-se a seu habitat natural, onde todos os parâmetros e necessidades metabólicas relacionadas a estes microrganismos sejam atendidos.

Logo, utilizam-se reatores, recipientes e câmeras que são capazes de assimilar e controlar o ambiente interno, a fim de que as arqueas possam se desenvolver e fornecer o produto final desejado.

3.3.4.1 Sulfetogênese

No decorrer do processo de formação do metano, pode haver a produção de subprodutos. Nesta etapa, os compostos de enxofre são reduzidos a sulfetos, devido à atividade dos microrganismos anaeróbicos estritos, denominados de bactérias redutoras de sulfato (sulforedutoras). A presença de elevada concentração de sulfato, podem afetar diretamente o metabolismo das bactérias responsáveis pelas etapas de fermentação acetogênica e a reação de metanogênese. A presença de sulfeto em alta concentração ou na forma de gás sulfídrico (H_2S) é considerada tóxica às arqueas (VERSIANI, 2005).

3.4.5 Pressão parcial de hidrogênio

A relação biológica que ocorre entre os organismos produtores e os consumidores de metano pode ser considerada uma situação de simbiose específica, denominada de sintrofia. Em determinado momento, a concentração de hidrogênio deve ser equilibrada, de forma que as arqueas metanogênicas hidrogenotróficas sejam capazes de produzir metano através do hidrogênio sintetizado nas reações anteriores (CHERNICHARO, 2007).

Porém, para que as atividades metabólicas, decorrentes da acetogênese, não sejam inibidas em virtude da elevada concentração de hidrogênio, a pressão desse elemento necessita ser baixa o suficiente para não influenciar no processo de

acetogênese (CHERNICHARO, 2007). Um mecanismo de defesa natural, decorrente de alguns tipos de bactérias é o biofilme, geralmente formado na superfície dos substratos. É derivado de uma mistura de polissacarídeos, proteínas e ácidos nucleicos, que protege biota microbológica de elevadas concentrações de determinada substância ou compostos tóxicos (MADIGAN et al, 2010).

3.4.6 Fatores de inibição

Diversos fatores podem ser responsáveis por interferir na produção de biogás. Algumas substâncias podem diminuir ou retardar a biodigestão anaeróbia, tanto em baixas quanto em elevadas concentrações. Ao atingir a saturação do sistema com estes compostos, o nível de toxicidade pode ocasionar a interrupção do procedimento. Deve-se ainda evitar a sobrecarga do biodigestor com o substrato, uma vez que este pode ser composto de solventes, antibióticos, enzimas, herbicidas, sais, metais pesados e demais substâncias capazes de influenciar no metabolismo da biota microbiana (FRIEHE et al., 2010).

Na Tabela 3, são apresentados alguns dos principais inibidores durante a digestão anaeróbia e suas concentrações limites de toxicidade.

Tabela 3 - Inibidores e sua concentração tóxica em processos de digestão anaeróbia

Inibidor	Concentração de inibição	Observação
Oxigênio	>0,1 mg/l	Inibição das arqueas metanogênicas anaeróbias obrigatórias.
Sulfeto de hidrogênio	>50 mg/l H ₂ S	Quanto menor o pH, maior o efeito inibitório.
Ácidos orgânicos voláteis	>2.000 mg/l HAc (pH=7,0)	Quanto menor o pH, maior o efeito inibitório. Alta adaptabilidade das Bactérias.
Nitrogênio amoniacal	>3.500 mg/l NH ₄ ⁺ (pH=7,0)	Quanto maiores o pH e a temperatura, maior o efeito inibitório. Alta adaptabilidade das bactérias.
Metais pesados	Cu>50 mg/l Zn>150 mg/l Cr>100 mg/l	Só metais dissolvidos apresentam efeito inibidor.
Desinfetantes e antibióticos	N.E.	Descontaminação pela precipitação de sulfeto. Efeito inibitório varia com o composto.

Fonte: Adaptado de Friehe, 2010.

3.4.7 Parâmetros do processo de produção do biogás

3.4.7.1 pH

O potencial hidrogeniônico (pH) influencia diretamente as atividades metabólicas dos organismos envolvidos no processo de digestão anaeróbia, pois, cada espécie possui uma faixa de pH ótimo. As arqueas metanogênicas, por exemplo, são sensíveis às variações bruscas, se enquadrando em um valor entre 6,5 e 7,2 (BOE, 2006).

Em contrapartida, a comunidade microbiana é mais tolerante, podendo se desenvolver em pH's de 4,0 e 8,5. Quando próximos de valores baixos, a tendência de produzir uma elevada quantidade de ácido acético e butírico é maior, enquanto que a valores próximos da neutralidade ou levemente alcalinos, encontram-se uma maior síntese de ácido acético e propiônico (BOE, 2006).

A produção de ácidos voláteis é responsável por deixar o meio de cultivo mais ácido, porém, compensa-se a acidez na etapa de metanogênese durante a formação de amônia e bicarbonato, tendendo a neutralizar o composto ou elevar o seu pH. Por esse motivo, outro parâmetro que deve ser monitorado é capacidade de tamponamento do digestor, representada pela relação entre ácidos voláteis e a alcalinidade, denominada de AI/AP (DROSG, 2013).

3.4.7.2 Alcalinidade

A capacidade de tamponamento ou alcalinidade é um parâmetro indicativo de acumulação de Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV) mais eficiente que o pH, pois esse aumento de concentração, primeiro consome a alcalinidade e posteriormente influi na mudança do potencial hidrogeniônico (BOE, 2006).

Pode-se aferir, tanto a Alcalinidade Total (AT), quanto a Alcalinidade Parcial (AP) de uma determinada amostra, através de metodologias que envolvem titulações específicas, de acordo com o ensaio e substrato analisado. Para que o biodigestor apresente um processo equilibrado e eficiente, a proporção AOV/AT deve variar de 0,1 a 0,35 (SWITZENBAUM et al., 1990).

A dificuldade na estabilidade de tamponamento da digestão anaeróbia das carcaças dos suínos está relacionada à sua composição (proteínas e lipídios). Ocasionalmente, haverá o acúmulo de ácidos orgânicos voláteis, elevado consumo de alcalinidade e acúmulo de amônia livre. Por esses motivos, ao inseri-las em um biorreator, torna-se necessário misturá-las a dejetos provenientes da suinocultura. (RAJAGOPAL, 2014)

Como monitoramento e controle do sistema de tamponamento, sugere-se analisar a quantidade de ácidos gerados durante os ensaios através da relação alcalinidade intermediária/alcalinidade parcial (AI/AP) A AI está relacionada a valores

equivalente de à alcalinidade proveniente de ácidos voláteis enquanto a AP equivale à alcalinidade por bicarbonato (MÉZES et al., 2011). De acordo com a Tabela 4, evidenciam-se as situações e as ações corretivas durante testes e simulações de biodigestão anaeróbia.

Tabela 4 - Desenvolvimento e situações relacionadas à relação AI/AP durante a DA

Relação AI/AP	Situações	Ações corretivas
> 0,6	Adição de elevadas cargas de substrato	Cessar adição de substrato
0,5 – 0,6	Entrada excessiva de substrato	Adicionar menos substrato
0,4 – 0,5	Saturação do reator	Monitorar cuidadosamente o reator
0,3 – 0,4	Máxima produção de biogás	Manter a mesma constância de entrada de substrato.
0,2 – 0,3	Insuficiência de substrato	Aumentar lentamente a entrada de substrato
< 0,2	Alimentação muito escasse do substrato	Aumentar rapidamente a entrada de substrato

Fonte: Adaptado de MÉZES et al., 2011.

3.4.7.3 Temperatura

A temperatura tem a capacidade de influenciar tanto nas propriedades físico-químicas de um determinado substrato anaeróbio, quanto na velocidade de crescimento de microrganismos e seus metabolismos. As arqueas metanogênicas são consideradas as mais sensíveis às alterações de temperatura.

O processo de anaerobiose pode ser aplicado em uma ampla gama de temperaturas, os organismos psicrófilicos com sua atividade metabólica ótima realizada em valores abaixo de 20°C; já os mesofílicos realizam o processo de fermentação em valores de 36 à 43°C, enquanto os termofílicos atingem temperaturas que variam de 50 à 65°C. Organismos mesofílicos são os mais comumente encontrados na biodigestão anaeróbia de dejetos suínos (DROSG, 2013).

Neste momento, esse parâmetro pode ser fator limitante para a dissociação da amônia, tornando-se cada vez mais concentrada no meio, o que

consequentemente dificulta a degradação de matéria orgânica rica em proteína (DROSG, 2013).

A pressão parcial de hidrogênio no interior de um biodigestor também é influenciada, indiretamente, pela temperatura, em virtude de que intervêm no metabolismo dos fermentadores secundários, denominados de organismos sintróficos. Estes, por sua vez, serão responsáveis por fermentar os produtos provindos dos fermentadores primários, gerando H_2 , CO_2 e CH_3COO^- (MADIGAN et al, 2010).

3.4.7.4 Ácidos orgânicos voláteis

O acúmulo de ácidos orgânicos voláteis (AOV) durante o processo influencia diretamente na cinética das reações realizadas entre os produtores e consumidores dos ácidos presentes no meio. Em sistemas com poucas reações de tamponamento, o pH, a alcalinidade parcial e os AOV são úteis para o monitoramento dos processos, enquanto que em sistemas que ocorrem diversas reações de tamponamento, indica-se, de forma confiável, o desequilíbrio do processo apenas com a utilização do parâmetro AOV (SWITZENBAUM et al, 1990).

Normalmente, utiliza-se a cromatografia gasosa (CG) e detectores de ionização de chama (FID) para um AOV em específico, ou então, é possível analisar os AOV totais através de titulações simples. Porém, a análise individual pode apresentar dados mais específicos e importantes, funcionando como um alerta de possíveis falhas durante o processo. A presença em elevadas concentrações de ácidos propiônicos, valéricos e butíricos podem inferir a sobrecargas ou estresses presentes no sistema. Ou ainda, pode-se utilizar a proporção de ácido propiônico/ácido acético, como indicador de falha iminente em um respectivo processo (MARCHAIM; KRAUSE, 1993).

3.4.8 Potencial Bioquímico de Metano (PBM)

A fim de obter biogás de elevada qualidade e realizar um levantamento de dados que sejam plausíveis, infere-se que os testes de PBM devam ser feitos com elevado nível técnico-científico e sob condições controladas.

Os ensaios consistiam na avaliação da taxa de síntese de metano a partir de uma carga orgânica específica ou na concentração de sólidos voláteis (SV) presentes, tanto no substrato, quanto no inóculo.

Os ensaios devem seguir ainda algumas normas para aferição e avaliação do biogás produzido.

A norma internacional ISO 11734/1995* descreve a padronização de testes cinéticos referentes à produção de compostos químicos orgânicos provindos de microrganismos anaeróbios. O inóculo seria inserido no substrato de estudo e após um período de 60 dias, a geração do biogás seria avaliada através de medidas manométricas.

A norma alemã DIN 38414-8** estabelece algumas condições básicas necessárias para a realização de ensaios em batelada com a finalidade de avaliar a degradação anaeróbia de determinados compostos orgânicos por meio de testes volumétricos na produção de metano.

Outra norma alemã utilizada é a VDI 4630***, considerada um complemento da norma DIN 38414-8, pois os ensaios além de serem realizados em batelada, podem ser semi-contínuos e contínuos. Os mesmos também podem ser aplicados na avaliação da biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos. É utilizada amplamente na União Europeia para avaliação do PBM de diferentes substratos orgânicos.

* *Evaluation of "ultimate" anaerobic biodegradability of organic compounds in digested sludge – Method by measurement of the biogas production.*

** *Determination of the amenability to anaerobic digestion.*

*** *Fermentation of organic materials - Characterisation of the substrate, sampling, collection of material data and fermentation tests.*

A norma ainda estabelece regras e necessidades perante os equipamentos utilizados nos ensaios de fermentação da matéria orgânica. Os resultados destes testes dependem da atividade metabólica do inóculo utilizado, geralmente utilizado como uma técnica de enriquecimento do meio de cultivo, no caso, o substrato analisado. Com a finalidade de comparação ou como dados de referência, manipulam-se materiais com uma capacidade conhecida de síntese do biogás.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CODIGESTÃO ANAERÓBIA

Os ensaios de codigestão anaeróbia foram realizados em escala de laboratório, no Laboratório de Estudos em Biogás da EMBRAPA* Suínos e Aves, localizada no município de Concórdia, Santa Catarina.

Os ensaios foram realizados durante os meses de abril e maio do ano de 2016. Foram dispostos em batelada e em triplicata, a fim de obter dados mais precisos e evitar erros ou problemas técnico-operacionais.

Os parâmetros físico-químicos analisados do processo de codigestão anaeróbia de dejetos de suínos em batelada foram pH, alcalinidade, temperatura, sólidos (totais - ST, voláteis - SV e fixos - SF), relação carbono / nitrogênio, nitrogênio amoniacal, proteínas e lipídios.

4.1.1 Coleta e caracterização das amostras

As amostras de dejetos suíno foram coletadas diretamente na saída da calha de uma granja comercial, na região rural do município de Concórdia - SC, onde se encontram matrizes reprodutoras em fase de gestação.

A coleta dos resíduos de animais mortos, nesse trabalho denominados como carcaças, foi realizada em uma granja comercial da EMBRAPA Suínos e Aves localizada no município de Concórdia – SC. Utilizaram-se carcaças de leitões com aproximadamente 15 quilogramas, oriundas do sistema de produção de uma unidade produtora de desmamados.

* Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Após coletadas, as carcaças suínas foram encaminhadas ao necrotério da EMBRAPA Suínos e Aves e inseridas em um desidratador, de batelada, DEBONA Evolution – 450 (Figura 2), com capacidade máxima de processamento de 450 quilogramas de carcaças de aves ou suínos.



Figura 2 - Interior do desidratador [1]; Visão externa do desidratador [2]; Instruções básicas de operação [3]; Motor de rotação [4].

As carcaças foram desidratadas durante um período de nove horas, a uma temperatura aproximada de 180-200 °C. Foram coletadas amostras após três horas de desidratação (CD (3h)) e ao término do processo de desidratação, após nove

horas (CD (9h)). Na Figura 3, pode-se visualizar o aspecto e as características granulométricas das amostras coletadas.



Figura 3 - Fotografia das carcaças após o processo de desidratação.

Em seguida, as amostras coletadas foram encaminhadas ao Laboratório de análises físico-químicas da EMBRAPA Suínos e Aves, para que as análises fossem realizadas.

A fim de facilitar no preparo das análises e otimizar os testes de PBM, as carcaças foram inseridas em um processador de alimentos marca FOSS modelo HM 297 Homogeniser K55 (Figura 4), para que o material fosse homogeneizado e sua granulometria reduzida.



Figura 4 - Visão externa no Processador de alimentos [1]; Carcaça desidratada durante três horas, após o processamento [2]; Carcaça desidratada durante nove horas, após o processamento [3].

As análises (Tabela 5) foram realizadas a fim de caracterizar as amostras e os substratos referentes ao presente estudo.

Tabela 5 - Definição das análises de caracterização dos substratos em estudo

	pH	AL	N - NH ₃ (mg/L)	SF (g/kg)	SV (g/kg)	ST (g/kg)	Pr	Lp	CN(%)	N (mg/kg)
IN	X	X	X	X	X	X				
Celulose	X			X	X	X				
DS	X	X	X	X	X	X				
CD (3h)	X			X	X	X	X	X	X	X
CD (9h)	X			X	X	X	X	X	X	X
DS + CD (3h)	X	X	X							
DS + CD (9h)	X	X	X							

*IN (inóculo), CD (carcaça desidratada), DJ (dejeito suíno), AL (Alcalinidade), N – NH₃ (Nitrogênio amoniacal), Pr (Proteína), Lp (Lipídeos), C/N (Relação carbono/nitrogênio), N (Nitrogênio).

4.1.2 Preparação e utilização do inóculo e dos substratos

Utilizou-se um inóculo (IN) anaeróbico mesofílico aclimatado, preparado a partir de partes semelhantes e proporcionais (1:1:1) de lodo anaeróbico de um reator UASB (do inglês *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*)* alimentado com dejeito de suínos, lodo anaeróbico de um reator UASB de indústria de alimentos e esterco bovino fresco (STEINMETZ et al., 2014).

O inóculo foi aclimatado a $37 \pm 1^\circ\text{C}$, por um banho térmico automático (Figura 5 (1)) duas semanas antes de se iniciar o experimento, em um reator CSTR** (Figura 5 (2)). Posteriormente, realizou-se sua alimentação durante 7 dias consecutivos. Nos sete dias seguidos, cessou-se a alimentação do inóculo, a fim de reduzir e estabilizar sua linha de base (produção de biogás) (STEINMETZ et al., 2014).

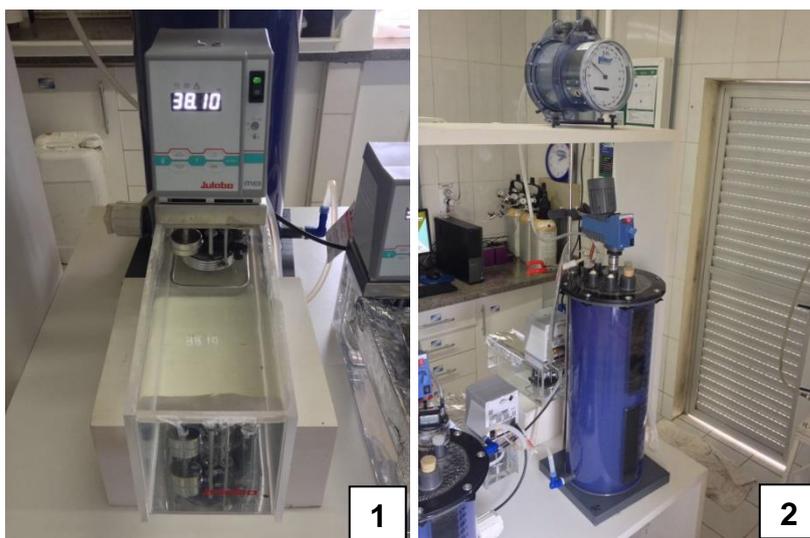


Figura 5 - Banho térmico automatizado (*Julabo*) [1]; CSTR – (do inglês *Continuous Stirred-Tank Reactor*) [2].

* Reator anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo.

** Reator com tanque de agitação contínua.

4.1.3 Métodos analíticos

4.1.3.1 Alcalinidade

Para remoção dos sólidos mais grosseiros, as amostras foram centrifugadas a 3493 g durante um período de 30 minutos, com o auxílio de uma centrífuga e em seguida as triplicatas foram analisadas utilizando-se de um titulador automático (Methohm 848 Titrino Plus). Utilizou-se na titulação uma solução de ácido sulfúrico ($0,05 \text{ mol.L}^{-1}$) até que o pH 4,5 fosse atingido (APHA, 2012). A obtenção da alcalinidade se deu pela Equação 1.

$$\text{Alcalinidade em } mgCaCO_3.L^{-1} = \frac{M \cdot A \cdot 10000}{V} \quad (1)$$

Em que:

M = Padronização da molaridade do ácido (mol.L^{-1})

A = Volume gasto de ácido para reduzir o meio até pH 4,5

V = Volume de amostra (mL)

4.1.3.2 Nitrogênio amoniacal (N – NH₃)

A concentração de nitrogênio amoniacal foi determinada utilizando o equipamento FIALab-2500, através do método colorimétrico. Utilizou-se ainda um sistema de análise por injeção em fluxo, FIA (do inglês *Flow injection analysis*), segundo procedimento descrito no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

4.1.3.3 Potencial Hidrogeniônico

As análises de pH foram realizadas através de um potenciômetro (marca HANNA modelo HI 98183). Antes de realizar as aferições, o eletrodo do aparelho era calibrado de acordo com os procedimentos indicados no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Cada medição seguiu as metodologias de análise respectivas às características da amostra.

4.1.3.4 Relação Alcalinidade Intermediária/Alcalinidade Parcial

Com a finalidade de remover a fração de sólidos grosseiros, as amostras foram centrifugadas a 3493 g por 30 minutos. Em seguida, utilizando-se do titulador (Methohm 848 Titrino Plus), titulou-se uma solução de ácido sulfúrico ($0,05 \text{ mol.L}^{-1}$). De acordo com Mézes et al. (2011), os valores são calculados através das Equações 2 e 3.

$$AI = ((B * 1,66) - 0,15) * 500 \text{ [mg de AOV] } CH_3COOH \quad (2)$$

$$AP = A * 250 \text{ [mgCaCO}_3\text{/L]} \quad (3)$$

Em que:

AI = Alcalinidade intermediária

B = Volume em mL de H_2SO_4 gasto até o pH 5,0

AP = Alcalinidade parcial

A = Volume em mL de H_2SO_4 gasto até o pH 4,4

4.1.3.5 Sólidos Totais, Fixos e Voláteis

O procedimento de análise das amostras seguiu as descrições do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). Primeiramente as amostras foram inseridas para secagem em uma estufa a 105°C, durante o período de 24 horas (ST) e, em seguida, calcinadas em uma mufla a 550°C durante uma hora (SF). A diferença entre os sólidos totais e os sólidos fixos resulta nos valores de sólidos voláteis (SV).

4.1.3.6 Determinação de proteínas - Nitrogênio em amostras sólidas pelo método de combustão (NTD)

Utilizou-se o método indireto para determinação do teor de proteína bruta. Foi empregada a correlação do "conteúdo de proteína = conteúdo de nitrogênio * 6,25" que descreve a relação entre o teor de proteína e nitrogênio.

A concentração de nitrogênio foi determinada em analisador Leco FP-528. O gerenciamento do instrumento foi realizado com o software Leco FP-528. Introduziu-se a amostra, automaticamente, em um forno de decomposição a 850°C com atmosfera rica em O₂ para rápida combustão.

Sob fluxo de Hélio ultrapuro (200 mL.minuto⁻¹) e ação catalítica de Cobre metálico, a 750°C, as espécies de nitrocompostos (NO_x) geradas foram reduzidas a nitrogênio (N₂). O gás carbônico (CO₂) e a água (H₂O) produzidos na combustão foram removidos por filtração sobre suportes de Lecosorb (20-30 mesh) e Anhydrone (10-16), respectivamente. O nitrogênio remanescente em fluxo de hélio foi, então, detectado em célula de condutividade térmica.

4.1.3.7 Determinação de lipídios - Extrato Etéreo (EE)

Utilizou-se éter de petróleo para realizar a extração das amostras (faixa de destilação de 30-70 °C) sob alta pressão, a 90°C por 90 minutos, em sistema Ankom

XT15, o conteúdo de extrato etéreo (constituído, predominantemente, por triacilgliceróis) foi determinado indiretamente por gravimetria de acordo com a Equação 4 (APHA, 2012).

$$EE (\%) = \left(\frac{M_1 - M_2}{M_3 - M_4} \right) * 100 \quad (4)$$

Em que:

EE: conteúdo de extrato etéreo em %;

M₁: massa da amostra seca a 105°C por 3 h + massa da bolsa filtro (g);

M₂: massa da amostra extraída e seca a 105°C por 3 h + massa da bolsa filtro (g);

M₃: massa inicial da amostra + massa da bolsa filtro (g);

M₄: massa da bolsa filtro (g)

4.1.3.8 Carbono e nitrogênio em amostras sólidas por combustão (CHN)

As concentrações de carbono e nitrogênio foram determinadas simultaneamente no material sólido em analisador elementar Thermo-Scientific™ Flash 2000 CHNS/O, de acordo com as recomendações do fabricante.

Utilizou-se um Detector de Condutividade Térmica (TCD) e como gás de arraste, o hélio ultrapuro. Foram pesados entre 10 ou 15 miligramas de amostra (a massa varia de acordo com a composição do composto/substrato analisado). Em seguida, a mesma foi introduzida automaticamente em um reator a 900°C a elevadas concentrações de oxigênio e sob ação catalítica de cobre eletrolítico/óxido de cobre.

Após a combustão, a mistura gasosa foi separada a 65°C em uma coluna cromatográfica de politetrafluoroetileno (PTFE). As concentrações de carbono e nitrogênio, expressas em porcentagem, foram determinadas a partir de calibração externa por curva analítica preparada a partir de metionina e cisteína, sulfonamidas.

4.1.3.9 Potencial Bioquímico de Metano

Conduziu-se o experimento em batelada com o auxílio do aparelho *Automatic Methane Potential Test System - BioProcess Control* (AMPTS) (Figura 6). O equipamento realizou a agitação automática do substrato de 10 em 10 minutos durante os 30 dias de inoculação, controlou-se a temperatura automaticamente a 37°C, filtrou e contabilizou, ainda de forma automatizada, o biogás produzido, coletando apenas o metano resultante. Os dados eram atualizados em tempo real em um software computacional.



Figura 6 - Imagem do aparelho AMPTS.

As condições e os parâmetros específicos, referentes aos ensaios em batelada com agitação semi-contínua, foram controlados e monitorados de acordo com padrões dispostos na norma alemã VDI 4630 (2006). Segundo a norma VDI 4630, se considera estabilizada a produção de biogás, final do ensaio, no momento que a produção diária de gás torna-se igual ou inferior a 1% do volume total produzido.

No total foram preparados sete testes em triplicata. Anteriormente à incubação dos reatores, foram realizadas análises de pH dos ensaios, série de sólidos do inóculo, do dejetto, do substrato correspondente à mistura de dejetto mais

a carcaça desidratada durante três horas e do substrato correspondente à mistura de dejetos mais a carcaça desidratada durante nove horas.

Depois de processadas, foram retiradas pequenas amostras das carcaças desidratadas para a realização da série de sólidos. Logo após, a proporção de carcaça de $3 \text{ kg}_{\text{carcaça}} \cdot \text{m}^{-3}_{\text{dejeito}}$ a qual representa uma vez a relação entre a produção de dejetos e a mortalidade animal em uma granja.

Como controle positivo para o inóculo foi utilizado Celulose monocristalina de alta pureza (Sigma-Aldrich). O valor de referência para a celulose é de $350 \text{ NmL/gSV}_{\text{sub.}}$ e a obtenção superior a 80% deste valor sinaliza o andamento satisfatório do teste em função da atividade do inóculo (WANG et al., 2014).

Ao final dos testes de PBM, as triplicatas dos ensaios foram abertas e o digestato foi encaminhado ao Laboratório de análises físico químicas da EMBRAPA Suínos e Aves, para que fossem realizadas as análises de pH, alcalinidade, concentração de amônia e relação AI / AP. Os dados armazenados pelo software foram coletados e analisados após o término da batelada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CODIGESTÃO ANAERÓBIA

5.1.1 Caracterização e análise das amostras

Quando comparados ao trabalho exposto por Massé et al. (2008) para carcaça *in natura*, os valores da porcentagem de sólidos (ST, SV) (Tabela 6) para as amostras carcaça desidratada (CD (3h)), foram parecidos. Por outro lado, a amostra de CD (9h) exibiu valores discrepantes, atribuídos, possivelmente, devido à desidratação das carcaças. A volatilização da água e de determinados compostos orgânicos voláteis, causada pelo processo de desidratação em temperaturas elevadas, pode ter resultado na maior concentração de matéria seca, motivo este, responsável pela diferença entre os dados.

Ao analisar e comparar os valores de proteínas e lipídios com os dados apresentados por Massé et al. (2008) e o presente estudo (Tabela 6), os únicos valores que se aproximaram foram os de porcentagem de proteína das amostras de CD (3h) (20,62%) com as amostras de $C_{in.natura}$ (18,81%). Isso pode ter ocorrido devido ao breve processo de desidratação e, dessa forma, a CD (3h) não tenha se assemelhado mais à $C_{in.natura}$, principalmente, devido à volatilização de água durante o tratamento térmico, ocasionando o aumento da concentração de sólidos.

Tabela 6 - Caracterização das amostras

Substratos	DS	CD (3h)	CD (9h)	DS + CD (3h)	DS + CD (9h)	C _{in.natura} Massé et al. (2008)
pH	7,49	7,22	7,31	8,02	7,85	6,1
Alcalinidade [mg CaCO ₃ .L ⁻¹]	4441,56	-	-	4395,67	4335,5	ND
N amoniacal (mg.L ⁻¹)	1006	-	-	1277,73	1330,4	2470
ST [gST.kg ⁻¹ amostra]	21,07	38,18	61,59	21,47	25,46	40,7
SV [gST.kg ⁻¹ amostra]	14,67	33,7	56,23	15,28	18,67	38,0
SF [gST.kg ⁻¹ amostra]	6,41	44,87	53,65	6,19	6,79	ND
Proteínas [%]	-	20,62	34,81	-	-	15,9
Lipídios [%]	-	11,94	20,98	-	-	17,67
Relação C/N	-	5,78	5,73	-	-	ND

*C_{in.natura} (Carcaça *in natura*); ND (não disponível).

Ao realizar uma comparação dos valores de pH com a concentração de amônia livre presente no digestato, o resultado torna-se compatível ao trabalho de Anthonisen et al. (1976), o qual infere que quanto maiores as concentrações de NH₃, maiores os valores de pH e conseqüentemente, maior o efeito inibitório (Tabela 7). Em Rodriguez et al. (2011) observou-se que até em níveis de 375 mg/L de amônia livre, não houveram indícios de interferência na eficiência do processo de digestão anaeróbia. Porém os valores encontrados estão abaixo dos limites de concentração para que se iniciem os efeitos inibitórios (Tabela 7).

Tabela 7 - Valores correspondentes às análises do digestato após o processo de DA

Testes	pH antes	pH após	Relação AI/AP	N – NH ₃ (mg/L)	NH ₃ (mg/L)
DS	7,75	7,73	0,11	2536,93	176,85
IN + CD (3h)	7,66	7,91	0,16	2791,73	286,13
IN + CD (9h)	7,69	7,95	0,16	2323,07	258,96
IN + CD (3h) + DS	7,71	7,70	0,10	1654,93	108,08
IN + CD (9h) + DS	7,75	7,70	0,09	1628,89	106,38
*Rodríguez et al. (2011)	-	-	-	-	>375,00

***Referência correspondente ao valor de concentração de amônia livre responsável por inibição durante a DA.**

Após realizar a análise de série de sólidos (ST e SV), os percentuais encontrados para a relação de SV / ST foram de 88,2 e 91,3%, para a carcaça desidratada durante três horas e após nove horas, respectivamente. Infere-se que a desidratação tenha favorecido a volatilização de um grande percentual de teor de água e a quebra de algumas moléculas de compostos mais complexos. Devido a esses prováveis motivos, os valores associados aos sólidos voláteis tenham resultado em elevadas proporções.

Após um longo processo de desidratação de CD (9h) (Tabela 6), observa-se que, ainda em elevadas temperaturas, grande parte dos compostos orgânicos voláteis não se volatilizaram. Quando se comparam os valores, a contribuição para produção de biogás diminuiu aproximadamente 30 Nml/gSV_{adicionado}. (Figura 8 - C e D), e isso se deve ao maior tempo de desidratação das carcaças.

5.1.2 Produção metanogênica específica

Após o termino dos ensaios de PBM, foi possível observar (Figura 8), que os testes cinéticos expressaram uma curva de comportamento satisfatório, pois, aparentemente, não houve diversidades durante as etapas da digestão anaeróbia ou problemas relacionados a inibições provenientes de elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal no digestato.

As análises de pH e da concentração de amônia realizadas após a batelada dos testes de PBM corroboram com os dados encontrados por Rajagopal (2014), relacionados à capacidade de tamponamento do dejetos suíno quando em codigestão com compostos de elevados teores de proteínas e lipídeos. A variação dos valores de pH, antes e depois da digestão, tanto para o IN + CD (3h), quanto para o IN + CD (9h), é maior que a variação do pH dos testes IN + CD (3h) + DS e IN + CD (9h) + DS (Tabela 7).

A digestão da CD (9h) produziu mais metano quando comparada à CD (3h) (aumento médio de 40 Nml/gSV_{adicionado}). Porém, quando adicionado o dejetos suíno,

a situação se inverte, a codigestão da CD (3h) + DS produz mais metano quando comparada à CD (9h) + DS (aumento médio de 30 Nml/gSV_{adicionado}.) (Figura 8 - A, B, C e E).

De acordo com os valores de volume cumulativo exibidos na Figura 8 (A-E), a produção de metano tende a se estabilizar entre o 4º e o 9º dia após a inoculação dos ensaios. Porém, na Figura 8 (C, D e E) com a presença do DS, a produção tende ao equilíbrio mais rapidamente que os demais testes, variando de 4 a 5 dias.

De acordo com Wang et al. (2014), os valores de referência de produção de metano para celulose monocristalina de alta pureza se encontram em torno de 350 NmL / gSV_{adicionado}. Porém, quando em comparação com o controle positivo do presente estudo (Figura 7 (A)), a produção média foi de 420 NmL / gSV_{adicionado}, comprovando a eficiência do inóculo.

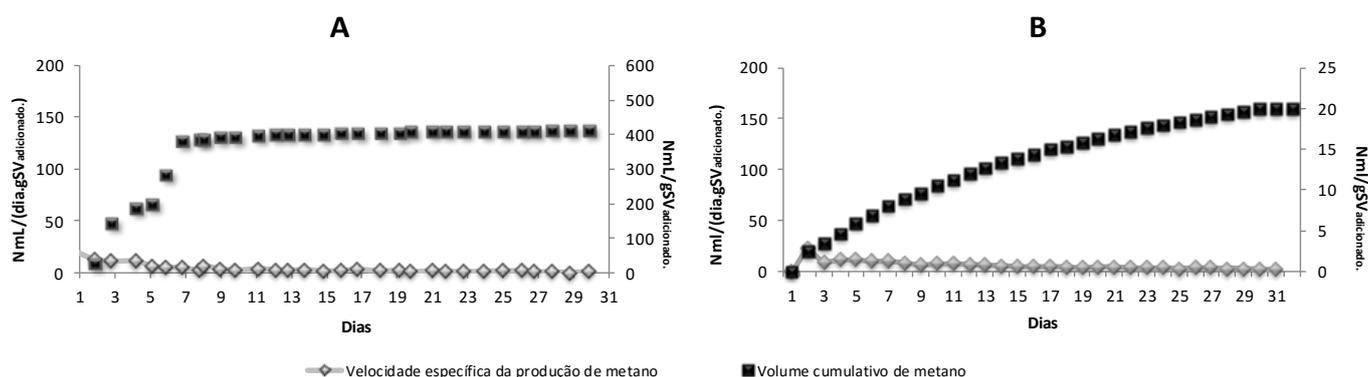


Figura 7 – Produção diária e produção cumulativa de metano do digestato A e B.

***Celulose monocristalina de alta pureza (Sigma-Aldrich) [A]; Inóculo [B].**

A digestão de carcaça suína (Figura 8 - A e B) (520 e 560 Nml/gSV_{adicionado}, respectivamente), comparada à codigestão anaeróbica de carcaça suína com dejetos suínos (Figura 8 - C e D) (150 e 120 Nml / gSV_{adicionado}.) atingiu uma produção cumulativa média de metano considerada, aproximadamente, três vezes maior. Vale ressaltar que o teste foi realizado em batelada e que elevadas concentrações de proteínas e lipídios podem colapsar o processo de biodigestão anaeróbica devido a interferências em sua instabilidade.

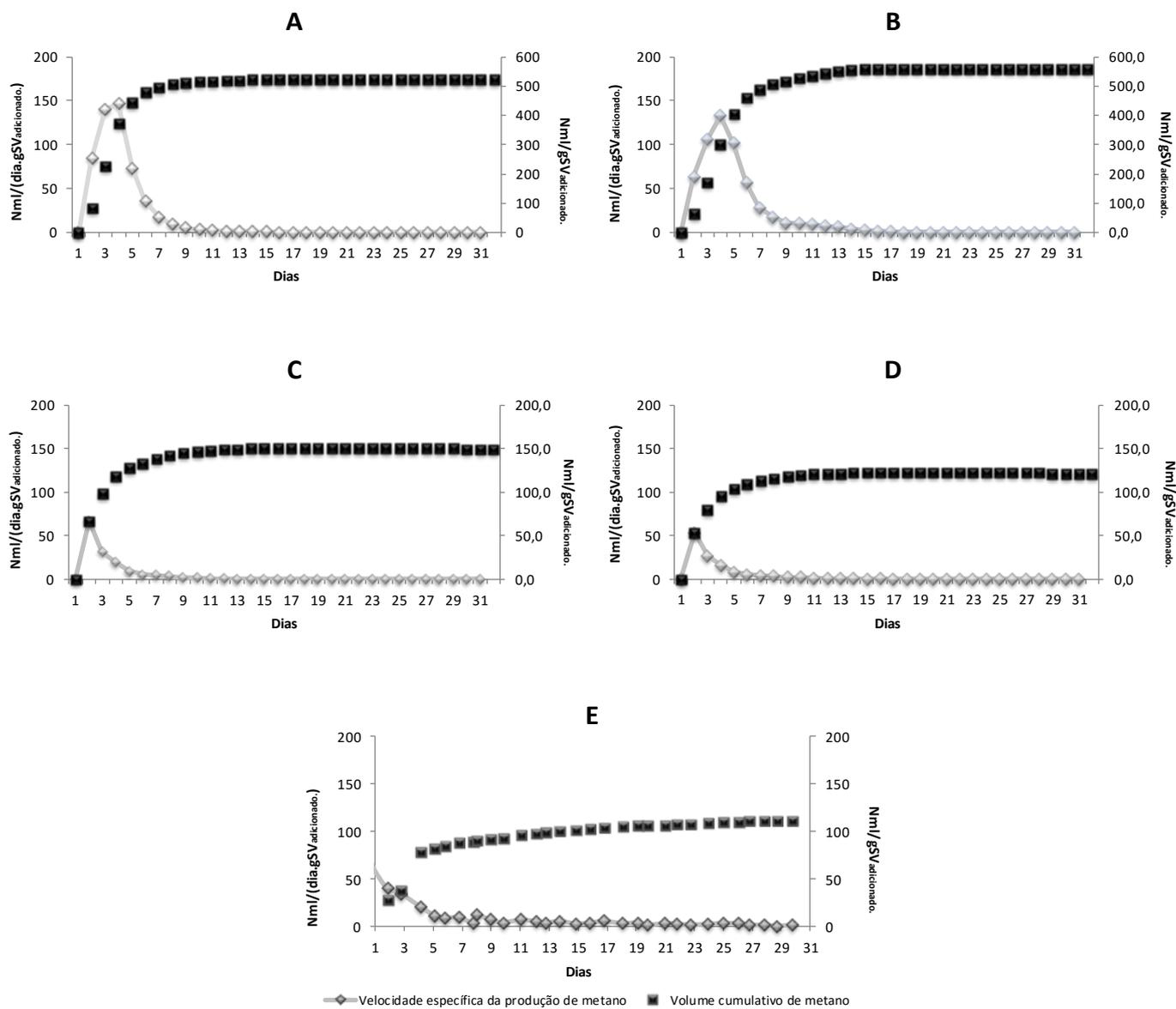


Figura 8 - Velocidade específica e produção cumulativa de metano dos digestatos A, B, C, D e E.

*IN + CD (3h) [A]; IN + CD (9h) [B]; IN + CD (3h) + DS [C]; IN + CD (9h) + DS [D]; DS [E].

6 CONCLUSÃO

A codigestão de carcaça suína se apresenta como uma interessante sugestão para geração de biogás, porém, deve-se ater ao monitoramento e controle dos parâmetros limitantes de operação do biorreator.

A carcaça suína, após passar pelo pré-tratamento de desidratação e pela codigestão anaeróbia, possui capacidade de elevada produção de metano e quando codigerida sem dejetos suínos, sua produção de metano é três vezes maior ao comparada com sua codigestão na presença de dejetos suínos.

As concentrações de ácidos orgânicos voláteis ou de nitrogênio amoniacal, durante as codigestões de carcaça desidratada na ausência e presença dejetos suínos, não foram suficientes para causar alterações ou até inibir as fases da digestão anaeróbia.

Com a finalidade de destinar, tratar e transformar os resíduos provenientes da suinocultura, como seus dejetos e carcaças, a codigestão anaeróbia surge como uma relevante alternativa de tratamento e transformação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE SUÍNOS - ABCS. **Produção de suínos: Teoria e prática**. Cap. 3 - Sistemas de Produção e Planejamento de Instalações na Suinocultura. Coordenação editorial ABCS, ed. 1, Brasília, DF, 2014.

ABPA. **Associação Brasileira de Proteína Animal**. História da suinocultura no Brasil. São Paulo. Disponível em: < <http://abpa-br.com.br/setores/suinocultura/a-suinocultura-brasileira> >. Acesso em: 16 out. 2015.

ABPA. **Associação Brasileira de Proteína Animal**. Relatório anual. São Paulo. 2016. Disponível em: < http://abpa-br.com.br/storage/files/versao_final_para_envio_digital_1925a_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web1.pdf >. Acesso em: 19 mai. 2016.

ALVES, S. M.; MELO, C. F.; WISNIEWSKI; A. **Aproveitamento de resíduos orgânicos para produção de biogás e biofertilizante**. p. 1-2. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, Centro de pesquisa agropecuária do trópico úmido – CPATU. Belém, PA. jun. 1983.

AMARAL, André C.; KUNZ, Airton.; STEINMETZ, Ricardo L. R.; SCUSSIATO, Lucas A.; TÁPPARO, Deisi C.; GASPARETO, Taís C. **Influence of solidliquid separation strategy on biogas yield from a stratified swine production system**. Journal of Environmental Management, Cascavel, v. 168, p. 229-235, fev. 2016.

ANDERSON, Douglas P. **Rendering operations**. Essential Rendering: All about the animal by-products industry. National Renderers Association. p. 31-51. Arlington - Virginia, set. 2006.

ANTHONISEN, A. C. et al. **Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid**. Journal Water Pollution Control Federation, v. 48, p. 835-852, 1976.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for examination of water and wastewater. 22st. ed. Washington: APHA, 2012.

BOE, K. Online monitoring and control of the biogas process. Ph.D. Thesis, Institute of Environment & Resources, Technical University of Denmark, 2006.

BRASIL. **Instrução normativa nº 105.006, de 23 de junho de 2009**. IAP - Instituto Ambiental do Paraná, Secretaria do meio ambiente e recursos hídricos. Curitiba, PR,

2009. Disponível em: <

http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/Instrucao_normativa/IN_105_006_SUINOS_VERSAO23JUN2009.pdf>. Acesso em: 21 out. 2015.

BRASIL. Norma Brasileira Regulamentadora nº 10.004 de 31 de maio de 2004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, RJ, 2004. Disponível em: <http://www.ccs.ufrj.br/images/biosseguranca/CLASSIFICACAO_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_NBR_10004_ABNT.pdf>. Acesso em: 21 out. 2015.

BRASIL. Norma Brasileira Regulamentadora nº 10.007 de 31 de maio de 2004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, RJ, 2004. Disponível em: <<http://wp.ufpel.edu.br/residuos/files/2014/04/nbr-10007-amostragem-de-resc3adduos-sc3b3lidos.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2015.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Brasília, DF, 2010. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 21 out. 2015.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. MMA – Ministério do meio ambiente. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <

<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 21 out. 2015.

CHERNICHARO, Carlos A. L. **Reatores Anaeróbios: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** v. 5 2. ed. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 1997.

Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA, 45., 2016, Florianópolis. **Determinação da capacidade de produção de biogás a partir da digestão de carcaça suína e sua codigestão com dejetos suínos.** Florianópolis, jul. 2016.

DE BONA, Eliana de A. M.; STEINMETZ, Ricardo L. R.; MILANI, Laís de M.; SOMER, Juliana G.; MENEGOL, Tania.; TRINDADE, Eduardo M.; KUNZ, Airton. Produção e aclimação de inóculo para ensaio PME. In: Simpósio internacional sobre gerenciamento de resíduos agropecuários e agroindustriais - SIGERA, 4., 2015, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro – RJ.

DE BONA – Metalúrgica. Catálogo de produtos 2016. Desidratador Evolution – 450. Céu Azul – PR, 2016.

DROSG, B. **Process monitoring in biogas plants**. International Energy Agency – Bioenergy. Programme of Research - Development and Demonstration on Bioenergy. 2013.

EUROPEAN UNION. Regulation (EC) nº 1069, of 21 October 2009. **The european parliament and the council of the european union**. European Commission, Strasbourg, France. 21 oct. 2009

FATMA, 2014. Instrução Normativa IN-11. Portaria Inter setorial n01/04, de 14.11.2014. FATMA, Florianópolis [online] Disponível em: <http://www.fatma.sc.gov.br/conteudo/instrucoes-normativas>.

FRIEHE, J.; WEILAND, P.; SCHATTAUER, A. **Guia prático do Biogás – Geração e Utilização**. 5. ed. Cap. 2 - Fundamentos da fermentação anaeróbia. p. 20-30. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 2010.

GOLDEMBERG, J. Ethanol for a Sustainable Energy Future. Sustainability and Energy. **Science**, v. 315, n. 5813, p. 808-810 fev. 2007. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/content/315/5813/808.full.pdf> >. Acesso em: 16 set. 2015.

GONÇALVES, Rafael G.; PALMEIRA, Eduardo M. Suinocultura brasileira, **Observatório da economia latino-americana: revista acadêmica de economia**. n. 71. dez. 2006. Disponível em: <<http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/06/rgg.htm> >. Acesso em: 16 out. 2015.

HECK, Karina; DE MARCO, Évilin G.; HAHN, Ana B. B.; KLUGE, Mariana; SPILKI, Fernando R.; VAN DER SAND, Sueli T. **Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v.17, n.1, p. 54–59, 2013.

HENGHERR, S.; WORLAND, M. R.; REUNER, A.; BRUMMER, F.; SCHILL, R. O. High-Temperature Tolerance in Anhydrobiotic Tardigrades Is Limited by Glass Transition. **Physiological and Biochemical Zoology: Ecological and Evolutionary Approaches**. Stuttgart, v. 82, n. 6, p. 749-755, dec. 2009. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/10.1086/605954?seq=1#page_scan_tab_contents>. Acessado em: 18 mai. 2016.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. REIS, L. B. dos. **Energia e meio ambiente**; trad. 4ª edição US; 3ª reimp. da 2ª ed.; Energy: it's use and the enviroment; Cap. 17 – Biomassa: das plantas ao lixo. p. 627-656. São Paulo. Cengage Learning, 2013.

HUBER, Harald; STETTER, Karl O. **Hyperthermophiles and their possible potential in biotechnology**. Journal of Biotechnology, Regensburg – Germany, v. 64, p. 39-52, apr. 1998.

HUBER, R.; HUBER, H.; STETTER, K.O. **Towards the ecology of hyperthermophiles: biotopes, new isolation strategies and novel metabolic properties**. FEMS Microbiology Reviews, Regensburg – Germany, v. 24, p. 615-623, jul. 2000.

HWU, C. S.; TSENG, S. K.; YUAN, C. Y.; KULIK, Z.; LETTINGA, G. Biosorption of long-chain fatty acids in UASB treatment process. Elsevier Science. **Water Research**, Taipei, vol. 32, n. 5, p. 1571–1579. 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135497003527>>. Acesso em: 22 out. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2002-2003**: perfil das despesas no Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 16 out. 2015.

KUNZ, Airton.; OLIVEIRA, Paulo A. V. de. Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. **Revista de Política Agrícola**, Concórdia, Ano XV, Nº 3, set. 2006. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/443463/aproveitamento-de-dejetos-de-animais-para-geracao-de-biogas>. Acesso em: 07 out. 2015.

LIMA, Urgel A.; AQUARONE, Eugênio; BORZANI, Walter; SCHMIDELL, Willibaldo. **Biotecnologia Industrial**: Engenharia Bioquímica. v. 3, cap. 23, pag. 513-546. ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 2001.

LUSK, P. **Methane Recovery from Animal Manures: A Current Opportunities Casebook**. 3ª ed. NREL/SR-25145. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. Work performed by Resource Development Associates, Washington – DC, set. 1998.

MADIGAN, Michael T.; MARTINKO, John M.; DUNLAP, Paul V.; CLARK, David P. **Brock**: Biology of microorganisms. 12. ed. São Paulo: Artmed Editora S.A., 2010.

MARCHAIM, U.; KRAUSE, C. Propionic to acetic acid ratios in overloaded anaerobic digestion. **Bioresource Technology**, Kiryat Shmona, vol. 43, p. 195-203. 1993. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/0960852493900316/1-s2.0-0960852493900316-main.pdf?_tid=a530a64e-7d44-11e5-be5f-00000aacb361&acdnat=1446017128_88f90fa2a1cfde5cb4949d7fc4c91f4d>. Acesso em: 27 out. 2015.

MASSÉ, D.I.; MASSE, L.; HINCE, J.F.; POMAR, C. Psychrophilic anaerobic digestion biotechnology for swine mortality disposal. **Bioresource and technology**. Science Direct, Elsevier. Quebec, vol. 99, p. 7.307-7311. mar. 2008.

MATOS, A.T. Tratamento de resíduos Agroindustriais. Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2005.

MCCARTY, Perry L. **Anaerobic Waste Treatment Fundamentals**. vol. 95, n. 9-12, p. 107-112. Chemistry and Microbiology – Associate Professor of Sanitary Engineering. Stanford University, set. 1964.

MÉZES, L.; BIRÓ, G.; SULLYOK, E.; PETIS, M.; BORBÉLY, J.; TAMÁS, J. **Novel Approach on the basis of FOS/TAC method**. Oradea, Vol. 17, 2011.

MIELE, M., MIRANDA, C. R., **O desenvolvimento da agroindústria brasileira de carnes e as opções estratégicas dos pequenos produtores de suínos do Oeste Catarinense no início do século 21**. A pequena produção rural e as tendências do desenvolvimento agrário brasileiro: Ganhar tempo é possível? Brasília. CGEE, 2013.

MIELE, M.; SANTOS FILHO, J. I. dos; MARTINS, F. M.; SANDI, A. J. **O desenvolvimento da suinocultura brasileira nos últimos 35 anos**. cap. 3, p. 88-92. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. 2011.

OLIVEIRA, P. A. V. de; LIMA, G. J. M. M. de; FÁVERO, J. A.; BRITO, J. R. F. **Suinocultura: Noções básicas**. Concórdia, SC. EMBRAPA – CNPSA, p. 34-35. 1993. (Documento, 31).

PIANA, Matheus G. **Higienização de lodo de estações de tratamento de esgoto por compostagem termofílica**. 2009. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

RAJAGOPAL, R.; MASSÉ, D. I.; SAADY, N. M. C. Low-temperature anaerobic co-digestion of swine carcass and swine manure: Impact of high swine carcass loading rate. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Sherbrooke, vol. 57, p. 1-6, oct. 2014.

Regional Information Service Centre for South East Asia on Appropriate Technology (RISE-AT). **Review of current status of Anaerobic Digestion Technology for treatment of Municipal Solid Waste**. Institute of Science and Technology Research and Development. Chiang Mai University. ap. 2, p. 25-30. nov. 1998.

RODRÍGUEZ, D.C.; BELMONTE, M.; PEÑUELA, G.; CAMPOS, J.L.; VIDAL, G. **Behaviour of molecular weight distribution for the liquid fraction of pig slurry treated by anaerobic digestion**, Environmental Technology. 2011. 419-425.

SAHLSTROM, Leena; BAGGE, Elisabeth; EMMOTH, Eva; HOLMQVIST, Annika; DANIELSSON-THAM, Marie-Louise; ALBIHN, Ann. A laboratory study of survival of selected microorganisms after heat treatment of biowaste used in biogas plants. **Bioresource Technology**. Uppsala – Sweden, v. 99, p. 7859-7865, mai. 2008.

SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil. **Renabio**. Biomassa e energia. v. 2, n. 1, p. 57-67. 2005.

SANTOS, Joana L. D. **Caracterização físico-química e biológica em diferentes laboratórios de produtos obtidos a partir Da compostagem de resíduos orgânicos biodegradáveis**. 2007. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2007.

SANZ, M.; ROBERTS, J.D.; PERFUMO, C. J.; ALVARES, R. M.; DONOVAM, T.; ALMOND, G.W. Case report: Assessment of sow mortality in a large herd Peer reviewed. **Journal of Swine Health Production**, v. 15, n. 1, p. 30–36, fev. 2007. Disponível em: <<https://www.aasv.org/shap/issues/v15n1/v15n1p30.pdf>>. Acesso em: 19 mai. 2016.

SCHMIDELL, Willibaldo; LIMA, Urgel A.; AQUARONE, Eugênio; BORZANI, Walter. **Biotecnologia Industrial**: Engenharia Bioquímica. v. 2, cap. 8-17, p. 179-395. ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2001.

STEINMETZ, Ricardo L.R.; KUNZ, Airton; AMARAL, André C., SOARES, Hugo M.; SCHIMIDT, Thomas; WEDWITSCHKA, Harald. Suggested method for mesophilic

inoculum acclimation to BMP assay. **In:** Latin American Workshop and Symposium on Anaerobic Digestion, 11., Cuba, Havana, 2014.

STETTER, Karl O. **Extremophiles and their adaptation to hot environments.** FEBS Letters. Regensburg – Germany, v. 452, p. 22-25, mai. 1999.

SWITZENBAUM, M. S.; GIRALDO-GOMEZ, E.; HICKEY, R. F. Monitoring of the anaerobic methane fermentation process. **Enzyme and Microbial Technology**, Amherst, vol. 12, p. 722-730. out. 1990. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/014102299090142D/1-s2.0-014102299090142D-main.pdf?_tid=a0b304de-7d28-11e5-9cf6-00000aacb35d&acdnat=1446005095_6bf99b5cbe0575f23e3fbefb034aeb69>. Acesso em: 27 out. 2015.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgoto: Um manual para regiões de clima quente**, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB, Brasil. 1994.

VDI 4630. **Fermentation of Organic Materials e Characterization of the Substrate, Sampling, Collection of Material Data, Fermentation Tests.** Verein Deutscher Ingenieure (Association of German Engineers), Düsseldorf, Germany, 2006.

VERSIANI, Betina. M. **Desempenho de um reator UASB submetido a diferentes condições operacionais tratando esgotos sanitários do campus da UFRJ.** 2005. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

ZHANG, Fu-Shen; YAMASAKI, Shin-ichi; NANZYU, Masami. Application of waste ashes to agricultural land - effect of incineration temperature on chemical characteristics. **The Science of the Total Environment**, Sendai – Japan, v. 264, p. 205-214, 2001.

WANG, B.; NGES, I. A.; NISTOR, M.; LIU, J. **Determination of methane yield of cellulose using different experimental setups.** Water Science & Technology, Sweden, v. 70, n. 4, p. 599-604. 2014