



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E VETERINÁRIA**

**POTENCIAL FERMENTATIVO DO INÓCULO DE CECO
SUÍNO DE LEITÕES COM COPRODUTOS DE MACAÚBA
(*Acrocomia aculeata*)**

CARLOS AUGUSTO DA SILVA JUNIOR

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS ANIMAIS

**BRASÍLIA/DF
JULHO DE 2015**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E VETERINÁRIA**

**POTENCIAL FERMENTATIVO DO INÓCULO DE CECO
SUÍNO DE LEITÕES COM COPRODUTOS DE MACAÚBA
(*Acrocomia aculeata*)**

CARLOS AUGUSTO DA SILVA JUNIOR

ORIENTADOR: RODRIGO DIANA NAVARRO

CO-ORIENTADORA: LUCI SAYORI MURATA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS ANIMAIS

PUBLICAÇÃO: 135/2015

**BRASÍLIA/DF
JULHO DE 2015**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E VETERINÁRIA**

**POTENCIAL FERMENTATIVO DO INÓCULO DE CECO SUÍNO DE LEITÕES
COM COPRODUTOS DE MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*)**

CARLOS AUGUSTO DA SILVA JUNIOR

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA
AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS ANIMAIS, COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS ANIMAIS.**

APROVADA POR:

RODRIGO DIANA NAVARRO, Dr. (UnB)
(Orientador)

SÉRGIO LUCIO SALOMON CABRAL FILHO, Dr. (UnB)
(Examinador)

IVES CLÁUDIO DA SILVA BUENO, Dr. (FZEA/USP)
(Examinador)

BRASÍLIA/DF, 03 de Julho de 2015.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que sempre está comigo em todos os momentos da minha vida e que iluminou meu caminho durante essa caminhada.

Aos meus irmãos e minha namorada Mariana pelo carinho, compreensão, apoio, amor e pela grande ajuda.

Ao professor Rodrigo Diana Navarro por todo apoio, ajuda e compreensão para a conclusão dessa dissertação.

À professora Luci Sayori Murata pela paciência, incentivo, dedicação, confiança e amizade a qual teve comigo, tornando possível a conclusão desta dissertação. Por esses três anos que trabalhamos juntos, regados de conhecimento, aprendizado e muita experiência, o que com certeza contribuiu para o meu aperfeiçoamento profissional e pessoal.

A todos os Professores da UnB e principalmente ao professor Sérgio Lucio Salomon Cabral Filho e pelo grande apoio e por estar sempre à disposição para ajudar, o senhor foi de extrema importância para a realização dessa dissertação.

Aos amigos e colegas de trabalho do LABEM, Fabiana, Thiago, Amanda, Karoline, Felipe, Sávio, Patrícia, Jéssica, Jacqueline e principalmente ao Fred pela amizade, momentos de trabalho e diversão, carinho e grande ajuda, vocês foram essenciais para a realização desse trabalho.

A todo o pessoal do Laboratório de Nutrição Animal, principalmente a Giovana e a Cris, pela atenção, paciência e carinho que tiveram comigo para a realização do experimento e das minhas análises.

As instituições UnB e Funarbe que possibilitaram a realização dos experimentos e das análises laboratoriais.

A Fazenda Água Limpa e todos os funcionários pela colaboração e apoio dados durante esses três anos.

Aos funcionários do SISCAL, Elizon e Gessé, pela amizade, trabalho duro, diversão e companheirismo.

Principalmente tenho à agradecer meus pais pelo carinho, dedicação e amor que me fizeram amadurecer e chegar até aqui. Aprendi com vocês a ter responsabilidades, agir com dignidade, honestidade e respeito. Pai e Mãe, o meu sincero obrigado por acreditarem em mim, por terem apoiado as minhas escolhas e assim, hoje sou fruto dessa confiança e amor.

MUITO OBRIGADO A TODOS!

ÍNDICE

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
CAPITULO 1.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Conceito de Fibra Dietética.....	3
2.2. Alimentos Alternativos Fibrosos.....	4
2.3. Subprodutos da Macaúba (<i>Acrocomia aculeata</i>).....	5
2.4. Uso da fibra dietética para suínos.....	7
2.5. Digestão da fibra em suínos.....	9
2.5.1. Fermentação da fibra dietética no trato gastrointestinal dos suínos.....	9
2.5.1.1. Produção de AGCC no intestino grosso dos suínos.....	11
2.5.1.2. Digestibilidade da fibra.....	12
2.6. Produção de gases <i>in vitro</i>	13
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
CAPITULO 2 - POTENCIAL FERMENTATIVO DO INÓCULO DE CECO DE SUÍNOS EM CRESCIMENTO UTILIZANDO COPRODUTOS DA MACAÚBA (<i>Acrocomia aculeata</i>) NA DIETA.....	22
1. RESUMO.....	22
2. ABSTRACT.....	24
3. INTRODUÇÃO.....	26
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5.1. Produção de Gases.....	34
5.2. Degradabilidade da matéria seca.....	41
6. CONCLUSÃO.....	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
CAPITULO 3 - POTENCIAL FERMENTATIVO DO INÓCULO DE CECO SUÍNO EM CRESCIMENTO UTILIZANDO TORTAS DA AMÊNDOA E POLPA DA MACAÚBA (<i>Acrocomia aculeata</i>).....	48

1. RESUMO.....	48
2. ABSTRACT.....	50
3. INTRODUÇÃO.....	52
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	54
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
5.1. Produção de Gases.....	59
5.2. Degradabilidade da matéria seca.....	65
6. CONCLUSÃO.....	68
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
CAPITULO 4 – CONCLUSÃO.....	72

RESUMO

POTENCIAL FERMENTATIVO DO INÓCULO DE CECO SUÍNO DE LEITÕES COM COPRODUTOS DE MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*)

ALUNO: Carlos Augusto da Silva Junior ¹

ORIENTADOR: Dr. Rodrigo Diana Navarro ²

¹Universidade de Brasília – UnB

²Universidade de Brasília – UnB

O presente estudo teve como objetivo avaliar através da técnica de produção de gases *in vitro* o potencial fermentativo e degradabilidade da matéria seca (DMS) de co-produtos da macaúba (*Acrocomia aculeata*), validando o uso da metodologia de produção de gases *in vitro* usada para ruminantes em suínos. Foram realizados dois ensaios experimentais, onde no primeiro utilizou-se como inóculos: ceco de suínos criados ao ar livre (CSF), ceco de suínos criados confinados (CSC), líquido ruminal de bovino (LRB). No segundo ensaio foram utilizados os mesmos inóculos de suínos (CSF e CSC), porém foi utilizado líquido ruminal de ovino. Os substratos utilizados no primeiro ensaio derivaram de uma dieta de suínos (dieta basal) a base de farelo de soja e grãos de milho atendendo as exigências nutricionais dos suínos. Para composição dos substratos foram estabelecidos diferentes níveis de substituição da dieta basal pela torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata* (AA), sendo: BAS - 100% de dieta basal; M10 - 90% de dieta basal e 10% AA; M20 - 80% de dieta basal e 20% AA, TF – feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*). No segundo ensaio os substratos utilizados foram a torta da amêndoa (TAM) e da polpa da *Acrocomia aculeata* (TPM), sendo as tortas produtos residuais obtidos a partir da extração do óleo da macaúba, casca de mandioca (CM) e silagem de milho liofilizada (SIL). Todos os substratos foram submetidos previamente ao processo de moagem.

A produção de gases foi avaliada nos tempos de 0, 3, 6, 9, 12, 16, 24, 48, 72 e 96 horas após a incubação, analisando potencial máximo de produção de gás (A), tempo de colonização (L) e taxa de produção de gás (μ). A DMS foi avaliada em 24 e 96 horas. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial 4 x 3. Os dados de A, L, μ e DAMS foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%. Comparando os inóculos para A (ml/gMS) no primeiro ensaio, LRB e CSF, apresentaram valores similares, diferindo apenas para TF, mostrando semelhança entre esses dois inóculos. No segundo ensaio ao avaliar o parâmetro A (ml/gMS) por inóculo, não houve diferença entre os inóculos para o substrato TPM. O inóculo CSC apresentou maiores resultados de A para os substratos TAM e CM, onde em TAM o CSF não diferiu de LRO e em CM o inóculo LRO apresentou o menor valor para A. Os inóculos estudados apresentaram proximidades em relação a produção de gases e degradabilidade da matéria seca, principalmente entre líquido ruminal bovino e ceco de suíno criado ao ar livre, mostrando semelhança entre esses inóculos.

Palavras-chave: alimentos alternativos, fibra dietética, produção de gases *in vitro*

ABSTRACT

POTENTIAL FERMENTATION OF INOCULUM FROM PIGLETS SWINE CECA USING MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*) COPRODUCTS

STUDANT: Carlos Augusto da Silva Junior¹

TUTOR: PhD. Rodrigo Diana Navarro²

¹University of Brasília – UnB

²University of Brasília – UnB

This study aimed to evaluate the fermentation potencial using the in vitro gas production technique and degradability of dry matter (DMD) of the macaúba co-products (*Acrocomia aculeata*), validating the use of in vitro gas production method used in ruminants to pigs. Two experimental trials were performed in the first trial were used as inoculum: pig cecum raised in a free range system (CSF), swine ceca raised in a conventional confined system (CSC) and bovine rumen fluid (LRB). In the second trial were used the same swine inoculums (CSF and CSC), but it was used sheep rumen fluid (LRO). The substrates used were derived from a swine diet (basal diet) based in soybean meal and corn grits according to the nutritional requirements of swines. To establish the substrates, were set different levels of substitution of basal diet by meal almond *Acrocomia aculeata* (AA), as follows: BAS - 100% of basal diet; M10 - 90% of basal diet and 10% AA; M20 - 80% of basal diet and 20% AA and TF - Tifton 85 hay (*Cynodon spp.*). In the second test the substrates used were: almond meal (TAM) and pulp of *Acrocomia aculeata* (TPM), where the meals were waste products obtained from the macaúba oil extraction, Cassava peels and freeze-dried corn silage (SIL). All substrates were previously subjected to the grinding process. Gas production was evaluated at times 0, 3, 6, 9, 12, 16, 24, 48, 72 and 96 hours after incubation, analyzing the

maximum potential of gas production (A) lag time (L) and gas production rate (μ). D was assessed at 24 and 96 hours. The experimental design was completely randomized in a factorial arrangement 4 x 3. The data A, L, μ and DMD were subjected to analysis of variance and means compared by Tukey`s 5% test. Comparing the inoculum for A (ml / gDM) in the first trial, LRB and CSF showed similar values, differing only for TF, showing similarity between these two inoculums. In the second trial, the parameter A (ml / gDM) was evaluated by inoculum and there was no difference between the inoculums to the TPM substrate. The CSC inoculum presented higher values of A for TAM and CM, and TAM in the CSF did not differ from LRO and in CM the LRO inoculum showed the lowest value for A. The inoculums studies showed proximity relative to the production of gases and degradability of the dry matter, especially among bovine rumen fluid and pig cecum created outdoors, showing similarity between these inoculums.

Keywords: alternative feed, dietary fiber, in vitro gas production

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Produtividade média do óleo por hectare de oleaginosas.....	6
Tabela 2.1 - Dados de análise bromatológica dos substratos estudados no ensaio de gases.....	33
Tabela 2.2 - Resultados da análise de variância das variáveis inóculos e substratos estudados para potencial máximo de produção de gases (A), tempo de colonização em horas (L) e taxa de produção de gases (μ).....	34
Tabela 2.3 - Resultados da análise de variância das variáveis inóculos e substratos estudados para potencial máximo de produção de gases (A), tempo de colonização em horas (L) e taxa de produção de gases (μ).....	35
Tabela 2.4 - Análise de interação e teste de médias para potencial máximo de produção de gases (A) em mL/gMS, comparativo entre inóculos e substratos.....	39
Tabela 2.5 - Tempo de colonização em horas (L), comparativo entre inóculo de rúmen Bovino (RLB), inóculo de ceco suíno criado ao ar livre (CSF), inóculo de ceco suíno criado confinado (CSC).....	40
Tabela 2.6 - Análise de interação e teste de médias para taxa de produção de gases (μ) em mL/g de MS/h, comparativo entre inóculos e substratos.....	41
Tabela 2.7 - Degradabilidade <i>in vitro</i> da matéria seca (%) de amostras coletadas 24 horas após inoculação.....	42
Tabela 3.1 - Degradabilidade <i>in vitro</i> da matéria seca (%) de amostras coletadas 96 horas após inoculação.....	58
Tabela 3.2 - Resultados da análise de variância das variáveis inóculos e substratos estudados para potencial máximo de produção de gases (A), tempo de colonização em horas (L) e taxa de produção de gases (μ).....	59
Tabela 3.3 - Análise de interação e teste de médias potencial máximo de produção de gases (A) em mL/gMS, comparativo entre inóculos e substratos.....	60
Tabela 3.4 - Análise de interação e teste de médias taxa de produção de gases (μ) em mL/g de MS/h, comparativo entre inóculos e substratos.....	63
Tabela 3.5 - Degradabilidade <i>in vitro</i> da matéria seca (%) de amostras coletadas 24 horas após inoculação.....	65
Tabela 3.6 - Degradabilidade <i>in vitro</i> da matéria seca (%) de amostras coletadas 96 horas após inoculação.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	- (A) Palmeira da <i>Acrocomia aculeata</i> . (B) Fruto da Macaúba e composição do fruto.....	6
Figura 2.1	- Amostras de substratos: (A) 100% de dieta basal (BAS); (B) 90% de dieta basal e 10% AA (M10); (C) 80% de dieta basal e 20% AA (M20); (D) feno de Tifton 85 (<i>Cynodon spp.</i>) (TF).....	29
Figura 2.2	- (A) Cecos de suínos criados ao ar livre 1 hora pós coleta. (B) Cecos de suínos criados em sistema convencional confinados 1 hora pós coleta.....	30
Figura 2.3	- Filtrado dos inóculos em banho-maria.....	30
Figura 2.4	- Processo de inoculação - (A) Vidros 160 ml identificados; (B) 90 ml de meio de cultura tamponante; (C) 10 ml de inóculo correspondente e vedação do frasco; (D) Armazenamento em estufa forçada de ar a 90 °C.....	31
Figura 2.5	- Leitura de pressão de gás (psi) nas garrafas de fermentação, por meio de um transdutor de pressão modelo <i>Press Data</i>	32
Figura 2.6	- Gráfico de interação do para potencial máximo de produção de gases (A) em mL/gMS, comparativo entre inóculos e substratos. LRB = Líquido ruminal bovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, BAS = 100% de dieta basal, M10 = 90% de dieta basal + 10% de <i>Acrocomia aculeata</i> , M20 = 80% de dieta basal + 20% de <i>Acrocomia aculeata</i> e TF = feno de Tifton 85 (<i>Cynodon spp.</i>).....	36
Figura 2.7	- Produção cumulativa de gases (mL/gMS) durante 96 horas de processo fermentativo dos inóculos, LRB = Líquido ruminal bovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, entre os substratos BAS = 100% de dieta basal, M10 = 90% de dieta basal + 10% de <i>Acrocomia aculeata</i> , M20 = 80% de dieta basal + 20% de <i>Acrocomia aculeata</i> e TF = feno de Tifton 85 (<i>Cynodon spp.</i>) ajustada ao modelo de France <i>et al</i> (1993).....	37
Figura 2.8	- Produção cumulativa de gases (mL/gMS) durante 96 horas de processo fermentativo dos substratos, BAS = 100% de dieta basal, M10 = 90% de dieta basal + 10% de <i>Acrocomia aculeata</i> , M20 = 80% de dieta basal + 20% de <i>Acrocomia aculeata</i> e TF = feno de Tifton 85 (<i>Cynodon spp.</i>) entre os inóculos, LRB = Líquido ruminal bovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado ajustada ao modelo de France <i>et al</i> (1993).....	38
Figura 2.9	- Gráfico de interação do para tempo de colonização em horas (L), comparativo entre inóculos e substratos. LRB = Líquido ruminal bovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, BAS = 100% de dieta basal, M10 = 90% de dieta basal + 10% de <i>Acrocomia aculeata</i> , M20 = 80% de dieta basal + 20% de <i>Acrocomia aculeata</i> e TF = feno de Tifton 85 (<i>Cynodon spp.</i>).....	39

- Figura 2.10** - Gráfico de interação do para taxa de produção de gases (μ), comparativo entre inóculos e substratos. LRB = Líquido ruminal bovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, BAS = 100% de dieta basal, M10 = 90% de dieta basal + 10% de *Acrocomia aculeata*, M20 = 80% de dieta basal + 20% de *Acrocomia aculeata* e TF = feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*)..... 40
- Figura 2.11** - Gráfico de interação de degradabilidade *in vitro* (%) de amostras coletadas 24 horas após inoculação. LRB = Líquido ruminal bovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, BAS = 100% de dieta basal, M10 = 90% de dieta basal + 10% de *Acrocomia aculeata*, M20 = 80% de dieta basal + 20% de *Acrocomia aculeata* e TF = feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*)..... 42
- Figura 2.12** - Gráfico de interação de degradabilidade *in vitro* (%) de amostras coletadas 96 horas após inoculação. LRB = Líquido ruminal bovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, BAS = 100% de dieta basal, M10 = 90% de dieta basal + 10% de *Acrocomia aculeata*, M20 = 80% de dieta basal + 20% de *Acrocomia aculeata* e TF = feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*)..... 43
- Figura 3.1** - Substratos submetidos ao processo de moagem - (A) Torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata* (TAM); (B) Torta da polpa da *Acrocomia aculeata* (TPM); (C) Casca de mandioca (CM); (D) Silagem de milho liofilizada (SIL)..... 55
- Figura 3.2** - Gráfico de interação do para potencial máximo de produção de gases (A) em mL/gMS, comparativo entre inóculos e substratos. LRO = Líquido ruminal ovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, TAM = Torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata*, TPM = Torta da polpa da *Acrocomia aculeata*, CM = Casca de mandioca e SIL = Silagem de milho liofilizada..... 61
- Figura 3.3** - Produção Cumulativa de Gases (mL/gMS) durante 96 horas de processo fermentativo dos substratos TAM = Torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata*, TPM = torta da polpa da *Acrocomia aculeata*, CM = Casca de mandioca e SIL = Silagem de milho liofilizada, entre os inóculos LRO = Líquido ruminal ovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, ajustada ao modelo de France *et al* (1993.)..... 62
- Figura 3.4** - Produção Cumulativa de Gases (mL/gMS) durante 96 horas de processo fermentativo dos inóculos LRO = Líquido ruminal ovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, entre os substratos TAM = Torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata*, TPM = Torta da polpa da *Acrocomia aculeata*, CM = Casca de mandioca e SIL = Silagem de milho liofilizada, ajustada ao modelo de France *et al* (1993.)..... 64
- Figura 3.5** - Gráfico de interação do para taxa de produção de gases (μ), comparativo entre inóculos e substratos. LRO = Líquido ruminal ovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, TAM = Torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata*, TPM = Torta da polpa da *Acrocomia aculeata*, CM = Casca de mandioca e SIL = Silagem de milho liofilizada..... 65

- Figura 3.6** - Gráfico de interação de degradabilidade *in vitro* (%) de amostras coletadas 24 horas após inoculação. LRO = Líquido ruminal ovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, TAM = Torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata*, TPM = Torta da polpa da *Acrocomia aculeata*, CM = Casca de mandioca e SIL = Silagem de milho liofilizada..... 66
- Figura 3.7** - Gráfico de interação de degradabilidade *in vitro* (%) de amostras coletadas 96 horas após inoculação. LRO = Líquido ruminal ovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, TAM = Torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata*, TPM = Torta da polpa da *Acrocomia aculeata*, CM = Casca de mandioca e SIL = Silagem de milho liofilizada..... 67

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIACÇÕES

A: Potencial máximo de produção de gases

AA: *Acrocomia aculeata*

AGCC: Ácidos graxos de cadeia curta

BAS: Dieta basal

CM: Casca de mandioca

CSC: Ceco de suínos abatidos e criados em sistema convencional confinado

CSF: Ceco de suínos abatidos e criados em sistema ao ar livre

DMS: Degradabilidade da matéria seca

EE: Extrato etéreo

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAL: Fazenda Água Limpa

FB: Fibra Bruta

FDA: Fibra Detergente Ácida

FDN: Fibra Detergente Neutro

L: Tempo de colonização em horas

LNA: Laboratório de Nutrição Animal

LRB: Líquido ruminal de bovino fistulado

LRO: Líquido ruminal de ovino fistulado

M10: Dieta basal + 10% *Acrocomia aculeata*

M20: Dieta basal + 20% *Acrocomia aculeata*

mM: Milésimo de Mol

MM: Matéria mineral

MS: Matéria seca

PB: Proteína bruta

pH: Potencial hidrogeniônico

PNA's : Polissacarídeos não amiláceos

PSI: Unidade de medida de pressão

TF: Feno de tifton 85 (*Cynodon spp.*)

TPM: Torta da polpa da macaúba

TAM: Torta da amêndoa da macaúba

SIL: Silagem de milho liofilizada

UNB: Universidade de Brasília

μ : Taxa de produção de gases

CAPITULO 1

1. INTRODUÇÃO

A produção animal, como ramo do setor agropecuário responsável pelo fornecimento de fontes de proteína de origem animal para a população, apresenta crescimentos expressivos, porém tem como obstáculo a competição entre a alimentação humana e a animal, principalmente em relação aos animais não-ruminantes, já que as rações formuladas no Brasil e nos maiores produtores mundiais de suínos são baseadas na mistura de milho e farelo de soja, que são alimentos ricos em nutrientes e importantes fontes de energia e proteína na alimentação humana (GOMES et al., 2006). Embora o Brasil seja um dos principais produtores mundiais de milho e soja, mais de 60% da soja e milho produzidos são destinadas a nutrição animal, sendo que no caso de rebanhos suínos os custos com alimentação representam mais de 70% do custo de produção (CRENSHAW, 2005). Com isso, ao mesmo tempo em que há a disponibilidade de grãos, a criação de suínos fica dependente da grande variação de preços que sofrem esses insumos, condicionando a rentabilidade do negócio (GOMES et al., 2007).

Para chegar a melhores resultados de produtividade através da melhoria da eficiência alimentar do animal, redução do desperdício e menor poluição, torna-se pertinente a busca por maiores informações a respeito. Com isso, tentativas que visam reduzir os custos da alimentação podem refletir, diretamente, sobre a eficiência na suinocultura (CESAR et al., 2011). Dentre as diversas alternativas, a inclusão de alimentos alternativos se mostra uma opção para redução dos custos de produção, principalmente em regiões onde a disponibilidade é alta e o custo reduzido (DUTRA JUNIOR et al., 2009).

No Brasil existe uma grande produção de coprodutos agrícolas fibrosos, como os farelos de grãos e, por esta razão o fornecimento de fibra na alimentação animal tem sido

estimulado e novas fontes de alimentos alternativos estão sendo procuradas (CICONINI, 2012).

As fontes de alimentos fibrosos incluem uma variedade de cobprodutos e resíduos da agroindústria, desidratadas, conservadas e ricas em fibra dietética. O uso desses insumos irá depender de alguns fatores determinantes como a sua viabilidade econômica e produtiva, como a qualidade da fibra dietética presente, disponibilidade do subproduto na região, aceitabilidade do alimento por parte do animal e sua digestibilidade e custo de aquisição (GOMES et al., 2007).

Dentro desse contexto, a palmeira Macaúba (*Acrocomia aculeata*) tem sido indicada como uma opção viável para a utilização na alimentação animal (ALMEIDA et al., 1998) que apresenta potencial de produção devido ao elevado teor de óleo e capacidade de adaptação a densas populações (MENDES FILHO et al., 2011). Além do óleo da polpa ter potencial para produção de biodiesel, o óleo da semente da macaúba possui propriedades cosméticas e pode ser utilizado na indústria farmacêutica. Do processo de extração de óleos são gerados também subprodutos, como carvão de alta qualidade para siderurgia, torta da polpa e da amêndoa que podem ser utilizados na alimentação animal (GARCIA et al., 2006).

O interesse de se utilizar ingredientes fibrosos como fonte de energia na suinocultura não é um conceito novo, pois, vem sendo discutida por pesquisadores desde os anos 30. Porém, a pesquisa sobre o potencial da fibra dietética usada na produção de suínos necessita de uma quantificação e identificação por meio da medição das interações entre os efeitos fisiológicos associados com a digestibilidade, causados pelo variável conteúdo fibroso que exista entre as diversas matérias-primas (GOMES et al., 2007).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial fermentativo de coprodutos da macaúba na produção cumulativa de gases e degradabilidade *in vitro* da matéria seca, utilizando inóculo de ceco de suínos criados ao ar livre, ceco de suínos criados confinados e líquido ruminal de bovino e ovinos, validando o uso da metodologia de produção de gases *in vitro* usada para ruminantes em suínos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Conceito de Fibra Dietética

O termo “fibra dietética” tem sido adotado na nutrição animal e o seu uso na alimentação de suínos vem aumentando, devido a melhor identificação dos efeitos específicos da fibra dietética sobre os processos digestivos (SOUFFRANT, 2001).

A fibra dietética pode ser considerada como a fração do alimento não digerível pelas enzimas endógenas dos animais, mas pela ação de enzimas da microbiota gastrintestinal está diretamente relacionada aos componentes da parede celular vegetal, que são os carboidratos estruturais celulose, hemicelulose, pectina e compostos fenólicos, conhecidos como polissacarídeos não amiláceos (PNA's) e a lignina (TUNGLAND & MEYER, 2002). Estes podem estar associados a pequenas quantidades de proteína, ácidos graxos, ceras, entre outros (MCDOUGALL et al., 1996).

Os componentes da fibra dietética, como os PNA's e a lignina, não são digeridos por monogástricos, pois são resistentes à hidrólise feita pela ação das secreções digestivas, isso faz com que interfiram na degradação e absorção dos demais nutrientes da dieta, que poderiam ser aproveitados pelos animais (TROWELL et al., 1978).

Dependendo da solubilidade dos seus componentes, os PNA's são agrupados em solúveis e insolúveis. As fibras solúveis possuem hemicelulose, pectinas e gomas como principais constituintes e as fibras insolúveis são compostas por lignina, celulose e um pouco de hemicelulose (TAVERNARI et al., 2008). As propriedades antinutricionais das fibras estão relacionadas em sua maioria, às fibras solúveis, devido sua capacidade de se ligarem a água elevando a viscosidade do fluído intestinal, interferindo na difusão dos nutrientes e das enzimas digestivas, assim como na sua interação com a mucosa intestinal (ROSA & UTTPATEL, 2007).

A celulose é o principal componente da parede celular dos vegetais e apresenta baixa digestibilidade para monogástricos, sendo associado na diminuição da digestibilidade de outros nutrientes presentes na dieta (ANDRIGUETTO, 2002). Por sua vez, a lignina encontrada nas palhas e cascas de cereais e gramíneas tropicais não é aproveitada nutricionalmente no trato digestivo dos animais não ruminantes, reduzindo a digestibilidade da matéria seca (VAN SOEST, 1970).

Segundo Bailey (1973), as partes variáveis dos PNA's estão relacionadas ao termo Fibra Bruta (FB) e refere-se ao resíduo da parede celular dos vegetais após a extração ácida e alcalina. A fibra em detergente neutro (FDN) está relacionada à porção insolúvel de PNA's mais a lignina e a fibra em detergente ácido (FDA) à porção insolúvel de PNAs, em sua maioria composta por celulose e lignina.

Os pesquisadores comumente utilizam para avaliação da dieta para os suínos o total de fibras da dieta e seus constituintes, a fibra solúvel e a fibra insolúvel são mais apropriadas para mensurar o total de PNA's para os monogástricos por levarem em consideração os PNA's, assim como as pectinas, β -glucanos, frutanos e outros açúcares solúveis (JOHNSTON et al., 2003).

2.2. Alimentos Alternativos Fibrosos

O crescimento da população no mundo vem acompanhada pelo aumento da competição entre humanos e animais monogástricos por grãos de alta densidade nutritiva (JOHNSTON et al., 2003). Assim, espécies animais que utilizam fundamentalmente grãos de cereais como base da alimentação, como o caso dos suínos, se torna importante que seja reavaliada e dada uma atenção especial à habilidade desses animais em utilizarem alimentos alternativos como fonte de energia não utilizável pelo homem e de baixo custo para o produtor (TEIXEIRA, 1995). Com intuito de utilizar alimentos alternativos na alimentação animal, alguns parâmetros devem ser analisados antes desta utilização como a disponibilidade do alimento no mercado, a sua composição química e qualidade do nutriente presente observando os valores de energia e fibra digestíveis disponíveis que serão realmente absorvidos pelos animais e, por fim, os aspectos físicos dos ingredientes na formulação das dietas como densidade, umidade e o estado físico dos mesmos (BELLAVÉR & LUDKE, 2004).

Atualmente, as agroindústrias de produção especializada, que geram resíduos, têm como objetivo a relação harmoniosa entre a conservação ambiental, o desenvolvimento econômico da empresa e melhor ambiente de trabalho, neste sentido buscam novas oportunidades de estabelecer parcerias entre a indústria e a agropecuária, destinando parte dos resíduos agroindustriais para a alimentação animal, melhorando a eficiência empresarial (ABREU, 2006). Aliando a melhor qualidade nutricional ao menor custo dos alimentos alternativos (GERON, 2007).

Os resíduos provenientes da cadeia produtiva do biodiesel são subprodutos da agroindústria ricos em fibra dietética e podem ser utilizados como ingredientes alimentares alternativos para os suínos (GERON, 2007). A Macaúba (*Acrocomia aculeata*), assim como resíduo do biodiesel pode ser uma boa opção para introdução na dieta suína, devido a sua produtividade, que pode ultrapassar de 30 toneladas/ha, além de ser rústica e bem adaptada às condições do Cerrado é resistente à seca (MOREIRA & SOUSA, 2009).

2.3. Subprodutos da Macaúba (*Acrocomia aculeata*)

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) é uma palmeira arborescente perene, frutífera, nativa das savanas, cerrados e florestas abertas da América tropical, tipicamente brasileira e com ampla distribuição geográfica, sendo considerada uma espécie pioneira, comum em áreas que sofreram intervenção antrópica recente, principalmente pastagens, sendo menos comum em matas nativas fechadas (MOTTA et al., 2002). No Brasil é possível encontrá-la nos estados do Ceará, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, São Paulo e por toda região Sul (SCARIOT et al., 1995).

A *Acrocomia aculeata* tem vasta sinonímia popular no Brasil: macaúba, mucajá, mocujá, mocajá, macaíba, macaiúva, bacaiúva, bocaiúva, umbocaiúva, imbocaiá, coco-de-catarro ou cocode-espinho (MENDES FILHO et al., 2011) Em outros países pode ser encontrada como mbocayá (Argentina), totaí (Bolívia), corozo (Colombia, Venezuela), tamaco (Colombia), coyol (Costa Rica, Honduras, México), corosse (Haiti) (CARVALHO et al., 2011).

Os frutos maduros da Macaúba, de cor amarelo-esverdeada, medindo entre 3,5 – 5,0 cm de diâmetro, contêm uma amêndoa oleaginosa envolvida por um endocarpo rígido e fortemente aderida à polpa (mesocarpo), os frutos podem ser coletados de setembro a dezembro (SALIS & MATTOS, 1996). Quando verde, a casca encontra-se muito aderida à polpa que varia

de cor amarelo-alaranjada a amarelo-esverdeada e apresenta aspecto ceroso e muito aderente (BRASIL, 2002). A altura das palmeiras (Figura 1.1A) pode variar de 5 a 20 metros (POTT & POTT, 1994).

Apesar de haver muita variação para as diversas regiões de ocorrência, a composição média do fruto da macaúba, em peso, pode ser expressa percentualmente na base seca: epicarpo 21%, mesocarpo 38%, endocarpo 34% e amêndoa 7% (Figura 1.1B) (CARVALHO et al., 2011).

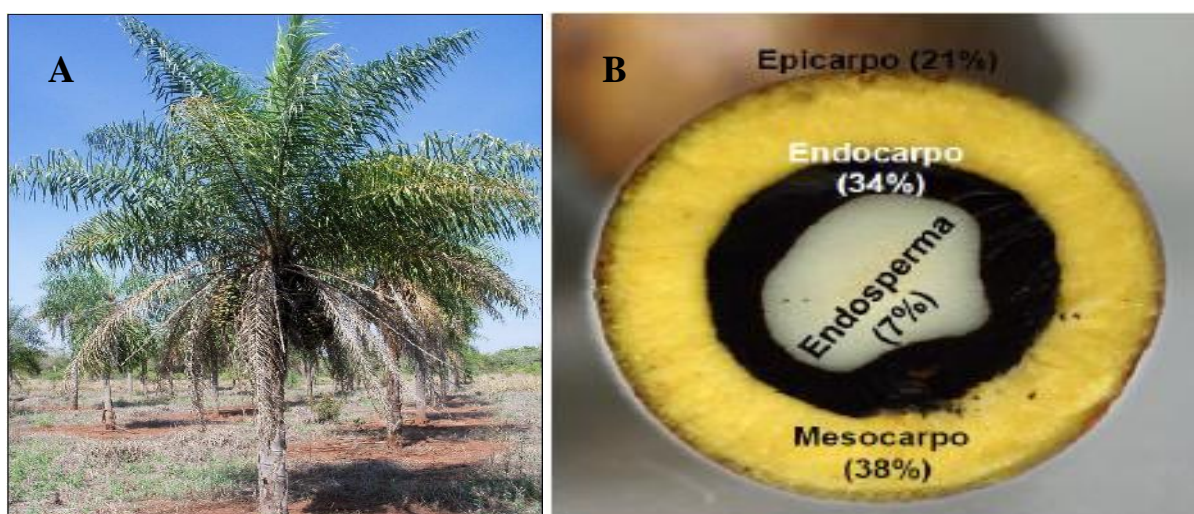


Figura 1.1 – (A) Palmeira da *Acrocomia aculeata* (CICONINI, 2012); (B) Fruto da Macaúba e composição do (CARVALHO et al., 2011).

A macaúba é uma espécie oleaginosa promissora para a produção de óleo vegetal destinado à fabricação de biodiesel, principalmente devido ao alto volume de óleo por hectare, que é elevado comparado a outros cultivos (Tabela 1.1) (ROSCOE et al., 2007).

Tabela 1.1 - Produtividade média do óleo por hectare de oleaginosas

Oleaginosa	Litros de óleo/ ha
Algodão herbáceo	200 a 300
Soja	300 a 600
Girassol	500 a 1900
Mamona	500 a 700
Amendoim	1000 a 1200
Canola	400 a 600
Nabo	100 a 400
Pinhão-manso	700 a 2000
Macaúba	2000 a 4500

Fonte - Adaptado de Roscoe et al. (2007).

A *Acrocomia aculeata* além de ter alta produtividade de óleo, comparado a outras oleaginosas, tem também o potencial de produzir pelo menos dois tipos de óleo, dois tipos de Torta e o carvão do endocarpo (MOREIRA & SOUSA, 2009). Quanto ao potencial alimentício, detectaram-se precursores da vitamina A nos frutos maduros de macaúba (HIANE et al., 2006).

Para que a cadeia produtiva da macaúba se estabeleça e aproveite todo o potencial que ela pode fornecer, é preciso que sejam desenvolvidas tecnologias para o seu aproveitamento comercial bem como para o manejo sustentado dos maciços naturais, principalmente para diminuir as incertezas relacionadas à sua produção, o que reduzirá o risco econômico dos cultivos e o risco ambiental da exploração dos maciços naturais, possibilitando o financiamento e o licenciamento de empreendimentos que desejem trabalhar com a espécie para produção de biodiesel (MOREIRA & SOUZA, 2009).

2.4. Uso da fibra dietética para suínos

O uso comercial da fibra dietética encontrada em forragens e outros tipos de volumosos na produção de suínos depende de vários aspectos para se tornar viável, como a identificação, quantificação e qualificação da fibra dietética, assim como uma prévia avaliação de como será sua associação aos efeitos fisiológicos e desempenho do animal e sua digestibilidade, uma vez que trata-se de animais monogástricos e possuem limitações em seu trato digestivo ao digerir alimentos fibrosos (GOMES et al., 2006).

Segundo Brouns et al. (1994) e Ramonet et al. (1999) apesar dos suínos serem animais não ruminantes e não possuem a mesma capacidade de digerir a fração fibrosa do alimento com a mesma eficiência de um animal ruminante, a fibra dietética vem sendo utilizada como fonte de energia para os monogástricos, em especial para suínos destinados ao abate, machos reprodutores, marrãs e fêmeas em gestação.

A utilização de rações compostas por alimentos fibrosos, além de oferecer um ótimo custo benefício, diminui os efeitos da restrição alimentar ao qual as fêmeas são sujeitadas devido ao maior volume que rações fibrosas apresentam e como consequência maior tempo gasto para o consumo da ração, melhorando o bem-estar desses animais (ROBERT et al., 1993).

As fêmeas gestantes normalmente sofrem uma restrição alimentar de aproximadamente 50% do que seria oferecido à vontade. Por este motivo, a adição de

alimentos fibrosos na dieta poderia satisfazer o apetite das porcas através da ativação do centro de saciedade, o qual é ativado em decorrência da distensão da parede estomacal (EVERTS, 1991), e assim reduz o estresse sem o oferecimento excessivo de nutrientes (CLOSE, 1994).

Observando o efeito de dietas com elevado teor de fibra em relação à utilização dos nutrientes e do comportamento das fêmeas adultas, Ramonet et al. (1999) demonstraram que fêmeas em gestação têm elevada capacidade de digestão de alimentos ricos em fibras em relação a suínos em crescimento. Isso se deve a maior capacidade de armazenamento do trato gastrointestinal, a adaptação gradativa da flora intestinal do animal, assim como a um maior número de bactérias celulolíticas presentes no intestino em comparação aos animais jovens.

Segundo Furtado (2002), rações extremamente fibrosas para suínos em crescimento podem levar a um menor ganho de peso e maior consumo da dieta e, conseqüentemente, a uma maior idade de abate, diminuindo a produtividade desses animais. Porém, Gomes et al. (2007) ao fornecerem uma ração, com incremento de 8% de fibra obtido pelo acréscimo de 10% de feno, não verificaram diferenças no ganho de peso de suínos em terminação. Assim como, Wilfart et al. (2007) utilizando dietas contendo 17, 21 e 27% de fibra bruta não encontraram diferenças ($P>0,05$) entre o ganho de peso diário de suínos em crescimento.

Gomes et al. (2006) cita que um benefício de incluir a fibra dietética na alimentação de suínos nas fases de crescimento e terminação é o melhor controle dos padrões de carcaças, adequando o ganho de peso animal com o rendimento em carne magra. Essas características são desejadas pela indústria que visa bonificar carcaças tipificadas (FÁVERO, 2002).

Uma prática comumente utilizada para suínos em terminação é a exploração da restrição alimentar para a obtenção do crescimento compensatório (FRAGA et al., 2008), na qual os animais da fase de terminação passam por um período de restrição alimentar seguido por um período de alimentação à vontade, em que os mesmos respondem com velocidades aceleradas de crescimento quando comparados a animais que se alimentam *ad libitum* continuamente (THERKILDSEN et al., 2002). No entanto, essa restrição requer algumas adaptações nas instalações que geram aumento de custos de produção (FRAGA et al., 2008), além do estresse causado aos animais, que pode alterar as características qualitativas da carne. Assim, a inclusão de ingredientes fibrosos na dieta, que reduz o valor energético das rações, seria uma boa alternativa para a redução da deposição de gordura na carcaça e evitando o

estresse da restrição do alimento e favorecendo o bem-estar desses suínos (RAMONET et al., 1999).

2.5. Digestão da fibra em suínos

O sistema digestivo é a porta através da qual os nutrientes, eletrólitos e fluidos entram no organismo animal (YEN, 2001). A maioria dos animais monogástricos utiliza os alimentos fibrosos de modo pouco eficiente, entretanto, alguns deles, como o cavalo e o coelho, podem fazê-lo bem melhor em função da fermentação microbiana no intestino grosso e/ou mediante estratégias alimentares em que se inclui a coprofagia e a cecotrofofagia (NUNES, 1998).

Os microrganismos do intestino delgado podem aderir à partículas alimentares, particularmente dos componentes fibrosos, porém, pelo rápido processo de digestão do intestino delgado, a fermentação de fibra dietética no intestino delgado do porco é limitada. No entanto, a atividade microbiana no intestino delgado ainda pode ter implicações substanciais para a degradação de alguns carboidratos que não são digeridos pelas carbohidrases (YEN, 2001). Dessa forma os componentes dietéticos da fibra são minimamente digeridos no intestino delgado de suínos, porém providenciam substrato para a fermentação microbiana no intestino grosso, sendo os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) os principais produtos desta fermentação (NRC, 1998).

2.5.1. Fermentação da fibra dietética no trato gastrointestinal dos suínos

Cerca de 30 a 60% de conteúdo gastrointestinal total no suíno está no intestino grosso, onde permanece durante 20 a 38 horas, em comparação com 0 a 6 horas no estômago e com 2 a 6 horas no intestino delgado. Este tempo de retenção prolongada no intestino grosso proporciona tempo suficiente para a digestão bacteriana de carboidratos, pois os carboidratos dietéticos que escapam da digestão no intestino delgado de suínos, passam através da válvula ileocecal e vão para o intestino grosso onde serão fermentados pela microbiota (YEN, 2001).

As regiões do colón e do ceco suínos apresentam elementos fundamentais para a proliferação bacteriana com a finalidade de fermentar a fibra, como temperatura ótima, ambiente anaeróbio, pH adequado e nutrientes necessários para o bom desenvolvimento das

bactérias (BERCHIELLE et al., 2000). Com isso, a fibra dietética pode ser degradada pela atividade dos microrganismos, resultando celulases, hemicelulases e enzimas em geral. Segundo Leser et al. (2002), 90% das bactérias presentes no cólon suíno são gram-positivas. Duas espécies de bactérias celulolíticas, *Bacteroides succinogenes* e *Ruminococcus flavefaciens*, que estão presentes no rúmen bovino, são encontradas predominantemente no cólon e ceco dos suínos. Confirmando parcialmente a elevada capacidade de degradação de fibras, em especial da celulose, no intestino grosso dos suínos, assim como está correlacionado também ao maior tamanho do trato gastrointestinal, principalmente do intestino grosso, que facilita o animal a utilizar a energia das rações fibrosas (VAREL, 1997; NOBLET e LE GOFF, 2001).

A celulose, a pectina e a hemicelulose são dissociadas a ácidos graxos de cadeia curta em decorrência da fase de fermentação no intestino grosso (GOMES et al., 1994). Segundo Pond (1989), Farrel e Johnson (1970), Gomes et al. (1994) e Close (1994) a contribuição desses ácidos graxos nas exigências energéticas de manutenção dos suínos são respectivamente entre 5 e 25%, 5 e 28%, 5 e 30% e em mais de 30%.

O elevado teor de ácidos graxos voláteis no intestino grosso, em razão da fermentação da fibra dietética da dieta no cólon e ceco, podem trazer benefícios para o suíno, como, aumentar o índice de renovação das células no epitélio, aumentar o fluxo de sangue do cólon, participar na multiplicação celular do epitélio do intestino, aumentando assim o muco que protege a parede do mesmo, modificar a motilidade do intestino e estimular a vazão do muco intestinal (BRUNSGAARD, 1998).

As fibras, em sua maioria, têm a capacidade de fermentar, formarem gel e podem causar o aumento da viscosidade, o que lhes conferem várias vantagens fisiológicas para o animal, como o retardamento do trânsito e do esvaziamento gástrico no intestino delgado, efeito suave na elevação da massa, volume e consistência das fezes; além da diminuição de diarreias pela reabsorção de água por causa das fibras, melhoria no incremento na mucosa do íleo e cólon, provimento energético a mucosa intestinal, diminuição do pH do cólon; acidificando-o e reduzindo a proliferação de bactérias patológicas (ROQUE et al, 2006).

Em contrapartida, o aumento da viscosidade da digesta no trato gastrointestinal reduz a relação da enzima com seu respectivo substrato pela redução da taxa de disseminação dos nutrientes no intestino, dificultando a absorção e ampliando a umidade nas fezes do animal (BEDFORD, 1996). Desse modo, segundo o mesmo autor, a elevação dos níveis de

fibra na dieta do animal acarreta também a diminuição energética da dieta, ocasionando uma elevação compensatória no consumo da ração para que o animal chegue aos níveis de energia requeridos para desenvolvimento e produção adequados.

2.5.1.1. Produção de AGCC no intestino grosso dos suínos

Os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) são os principais produtos da fermentação bacteriana no intestino e são responsáveis por 98% de todos os ácidos orgânicos que ocorrem no intestino de suínos. A concentração média de AGCC no intestino de suínos é de cerca de 150 a 250 mM (YEN, 2001).

Tanto os carboidratos solúveis (amido) como os insolúveis (fibra) são degradados por enzimas microbianas, principalmente as hexoses. A principal diferença na digestão dessas duas fontes de carboidratos é o tempo muito mais prolongado necessário para degradar a fibra. Por isso, independente do carboidrato dietético, as hexoses produzidas são metabolizadas pelas bactérias a AGCC e gases, os produtos finais da fermentação dos carboidratos (ARGENZIO, 2006).

A fibra alimentar é o principal substrato para as bactérias presentes no intestino grosso realizarem a fermentação bacteriana em animais monogástricos, tendo como principais produtos finais da fermentação da fibra bruta (FB) no intestino, os ácidos graxos de cadeia curta (acetato, propionato e n-butirato) e gases (CO_2 , H_2 , CH_4) (WILLIANS et al., 2001).

Outros metabólitos como etanol e o lactato podem ser formados dependendo do tipo de bactéria presente no meio (DROCHENER et al., 2004).

A quantidade e proporção molar dos ácidos graxos de cadeia curta podem variar dependendo do tipo da fibra presente no alimento (WILLIANS et al., 2001).

Os AGCC trazem diversos benefícios para os suínos, regulam o crescimento das células epiteliais, induzem a diferenciação e renovação celular no intestino, principalmente nos suínos mais jovens (KIEN et al., 2007), ao mesmo tempo suprimem o crescimento de células cancerígenas (CLAUS et al., 2007) e limitam o risco de diarreia (MONTAGNE et AL., 2003).

O acetato é o gás produzido em maior quantidade, seguido do propionato (WILLIANS et al., 2001). O propionato é muito efetivo na glicogênese do substrato no fígado, já ácido acético é transportado para o fígado, fazendo papel de substrato energético para o tecido muscular, onde estimula a lipogênese. Diferentemente do propionato e acetato, o

butirato não passa diretamente para corrente sanguínea, mas é diretamente metabolizado nas células da mucosa intestinal, os enterócitos (BREVES et al., 1997).

Os AGCC, e especialmente o butirato, têm sido implicadas como tendo papéis importantes na saúde humana e animal (SAKATA & INAGAKI, 2001), sendo considerado como a maior fonte de energia para células epiteliais, responsável por funções imunomoduladoras e anti-inflamatórias (LUHRS et al., 2002), podem agir na aceleração da proliferação das células epiteliais do intestino, no aumento da resistência do hospedeiro contra os microrganismos oportunistas, na inibição da proliferação das bactérias patogênicas e na estimulação da absorção de água e sódio (KRISHNAN et al. 1999).

2.5.1.2. Digestibilidade da fibra

Segundo Noblet & Le Goff (2001) a lignina influencia na digestibilidade dos outros componentes da dieta, determinando uma relação inversamente proporcional entre a concentração de lignina e a digestibilidade total da dieta. Segundo os mesmos autores, pectinas, frutanos e beta-glucanos e outros componentes da fibra solúvel aumentam a viscosidade da digesta.

Para os monogástricos, o uso da celulose pelos microrganismos do intestino é prejudicado pelo pouco tempo de permanência do bolo alimentar no intestino grosso, devido ao aumento da taxa de passagem da digesta pelo trato gastrointestinal (JOHNSTON et al., 2003 e EHLE et al., 1982). Em decorrência disso, observa-se uma relação inversamente proporcional entre a fração da fibra presente na dieta e a digestibilidade da matéria seca, essa relação não se aplica para certos tipos de fibras como as encontradas na casca de soja, polpa de beterraba e farelo de trigo, devido à elevada capacidade de fermentação dessas fontes de fibra (KING & TAVERNER, 1975).

A fibra dietética, mesmo com essa contribuição energética, pode provocar efeitos deletérios sobre os coeficientes de digestibilidade dos principais componentes alimentares como também pode ocasionar alterações na taxa de absorção de nutrientes como a proteína, aminoácidos e minerais, e/ou na excreção de nitrogênio endógeno (SCHULZE et al., 1994).

Segundo Vandehoof (1998) a parte insolúvel da parede vegetal mantém sua integridade estrutural, enquanto o bolo alimentar passa pelo intestino delgado, pois é resistente ao ataque de microrganismos que atuam nele. Assim, a capacidade de hidratação é

mantida e pode agir como uma barreira física capaz de reduzir o ingresso das enzimas digestivas no interior das células, limitando a absorção e digestão dos nutrientes. Com isso, é impreterível a escolha com muito critério não só do tipo e/ou qualidade, como também da quantidade adequada de fibra para cada categoria animal.

2.6. Produção de gases *in vitro*

As técnicas *in vitro* de produção de gases são capazes de simular o ambiente ruminal e a digestão enzimática (THEODOROU et al., 1994) e baseiam-se na estimativa do volume de gases produzidos por meio da leitura direta com seringas graduadas ou por conversão de volume a partir de dados de pressão (MAURÍCIO et al., 2003). Essa técnica apresenta grande potencial em descrever a cinética de fermentação ruminal dos alimentos, além de estimar a taxa e a extensão da degradação de suas frações solúveis e insolúveis, por meio da quantificação dos resíduos obtidos em diferentes tempos (GETACHEW et al., 1998).

Diversas metodologias e equipamentos utilizados para mensuração de produção de gases têm sido desenvolvidos, pois as técnicas de produção de gases *in vitro* vêm sendo amplamente realizadas por pesquisadores (RYMER et al., 2005). Getachew et al. (1998) cita técnicas existentes para se realizar a mensuração de gases, como o método desenvolvido por Menke et al. (1979), o método do deslocamento de líquido (BEUVINK et al., 1992), o método nanométrico desenvolvido por Waghorn & Stafford (1993) e o método do sistema de transdutor de pressão desenvolvido por Theodorou et al. (1994), ou o computadorizado desenvolvido por Pell & Schofield (1993).

A técnica de produção de gases desenvolvida por Theodorou et al. (1994) caracteriza-se pela leitura manual do volume de gases produzidos através de uma seringa plástica graduada. Apesar de ter como vantagem sua grande capacidade analítica, apresentava como fatores limitantes a demanda de muito tempo para realização de cada leitura e o uso da seringa restringe o número de amostras analisadas por experimento, diminui o número de leituras e conseqüentemente compromete descrição da curva de fermentação principalmente durante o período inicial de fermentação (*lag-phase*) e muitas vezes compromete a acurácia das leituras devido a erros cometidos pelo operador (MAURÍCIO et al. 2003). Diante desses impasses, Maurício et al. (1999), adaptaram a metodologia desenvolvida por Theodorou et al. (1994), ao substituírem o uso de seringas para realização das leituras de volume de gás produzido

por instrumentos que permitiam a captura direta de dados, o que levou a redução do tempo despendido durante as leituras, além de reduzir o erro potencial associado as mensurações.

Quando obtido o perfil de produção de gases, dispõem-se diversos modelos matemáticos para descrevê-los. Os modelos matemáticos mais utilizados são Orskov & McDonald (1979), Mertens & Loften (1980), Beuvink & Kogut (1993), France et al. (1993), Logístico uni ou bicompartimental, proposto por Schofield et al. (1994). Groot et al. (1996) e de Gompertz, proposto por Lavrencic et al (1997). A descrição matemática das curvas de produção de gases permite a análise dos dados, a comparação dos substratos e a evolução de diferentes ambientes de fermentação, proporcionando informações sobre a composição do substrato estudado e das taxas de fermentação dos constituintes solúveis e estruturais dos substratos (FARIAS et al., 2011).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, E.F. **Novo paradigma na gestão ambiental: produzir sem degradar**. 2006. Disponível em: < <http://mt.gov.br/imprime.php?cid=22798&sid=151>> Acesso em: 10 abr. 2015.
- ALMEIDA, S.P.; PROENÇA, C.E.; SANO, S.M.; RIBEIRO, J.F. **Cerrado, espécies vegetais úteis**. EMBRAPA – CPAC. Distrito Federal, p. 464, 1998.
- ANDRIGUETTO, J.M.; PERLY, L.; MINARDI, I.; GEMAEL, A.; FLEMMING, J.S; SOUZA, G.A.; FILHO, A.B. **Nutrição Animal**. São Paulo: Nobel, v. 1, 396 p., 2002.
- ARGENZIO R. A. Funções Digestivas e Absortivas dos Intestinos In: REECE W. O. **Dukes/ Fisiologia dos Animais Domésticos**. 12 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. 393 p.
- BAILEY, R.W. **Chemistry and Biochemistry of Herbage**, v.1, p.157, 1973.
- BEDFORD, M.R. The effect of enzymes on digestion. **Journal of Applied Poultry Science**, v.5, n.4, p.370-378, 1996.
- BELLAVER, C.; LUDKE, J.V. Considerações sobre os Alimentos Alternativos para Dieta de Suínos. **Encontro Internacional dos Negócios da Pecuária**, 2004.
- BERCHIELLI, T.T.; ANDRADE, P.; FURLAN, C.L. Avaliação de indicadores internos em ensaios de digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.3, p.830-833, 2000.
- BEUVINK, J.M.W.; KOGUT, J. Modeling gas production kinetics of grass silages incubated with buffered ruminal fluid. **Journal of Animal Science**. v.71, p. 1041-1046, 1993.
- BEUVINK, J. M. W. SPOELSTRA, S. F. HOGENDORP, R. J. An automated method for measuring time-course of gas production of feedstuff incubated with buffered rumen fluid. **Neth Journal Agriculture Science**. v.40, p.401-407, 1992.
- BRASIL. Alimentos regionais brasileiros. **Ministério da Saúde, secretaria de políticas de saúde**, n. 21, p. 140, 2002.
- BREVES. G.; KRUMSCHEID. R. *In vitro* studies on transport and metabolism of short-chain fatty acids in pig hindgut. **Comparative Biochemistry and Physiology. Part A: Physiology**, v.118, p.399-401, 1997.

- BROUNS, F.; EDWARDS, S. A.; ENGLISH, P. R. Effect of dietary fibre and feeding system on activity and behaviour of housed gilts. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 39, p. 215-223, 1994.
- BRUNSGAARD, G. Effects of cereal type and feed particle size on morphological characteristics, epithelial cell proliferation, and lectin binding patterns in the large intestine of pigs. **Journal of Animal Science**, v. 76, p. 2787-2798, 1998.
- CARVALHO, K. J.; SOUZA, A. L.; MACHADO, C. C. **Ecologia, manejo, silvicultura e tecnologia da macaúba**. Convênio de cooperação técnica SECTES/FAPMIG pólo de excelência em florestas, Universidade Federal de Viçosa – UFV. 2011. Disponível em: <<http://www.sifloresta.ufv.br/handle/123456789/11140>>. Acesso em : 12 mai. 2015.
- CÉSAR, A.D.; CARRARO, B. Z.; DALLANORA, D.; COSER, F.J.; MACHADO, G.S.; MACHADO, I.P.; PINHEIRO, R.; ROHR, S.A. **Manual brasileiro de boas práticas agropecuárias na produção de suínos**. 1 ed. Brasília: ABCS; MAPA ; Embrapa suínos e aves, p. 5 -12, p. 109, 2011.
- CICONINI, G. **Caracterização de frutos e óleos de polpa de macaúba dos biomas cerrado e pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil**. 2012, p. 21-28. Dissertação de Mestrado – Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2011.
- CLAUS R., GUNTNER D.; LETZBUB H. Effects of feeding fat-coated butyrate on mucosal morphology and function in the small intestine of the pig. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.91, p.312-318, 2007.
- CLOSE, W. H. Fibrous diets for pigs. **Pig News and Information**, v. 15, p. 65, 1994.
- CRENSHAW, J.D. **Dietary fiber for sows**. Midwest Swine Nutrition Conference. Indianapolis, Indiana, USA. 2005.
- DUTRA JÚNIOR, W.M.; CARVALHO, D.M.S.; RABELLO, C.B.; LUDKE, M.C.M.M.; ALMEIDA, G.H.N.; LIMA, S.B.P. Utilização da elódea (*Egeria densa*) na alimentação de suínos. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 31, n.1, p. 39-44, 2009.
- DROCHNER W.;KELER A.; ZACHARIAS B. Pectin in pig nutrition, a comparative review. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.88, p.367-380, 2004.
- EHLE, F.R.; ROBERTSON, J.B.; VAN SOEST, P.J. Influence of dietary fibers on fermentation in the human large intestine. **Journal of Nutrition**, v.112, n.1, p.158-166, 1982.
- EVERTS, H. The effect of feeding different sources of crude fibre during pregnancy on the reproductive performance of sows. **Animal Production Science**., v.52, p. 175-84, 1991.
- FARIAS, L.N.; VASCONCELOS, V.R.; CARVALHO, F.F.R.; SARMENTO, J.L.R. Avaliação dos modelos logístico bicompartimental e de Gompertz na estimativa da dinâmica de fermentação ruminal *in vitro* do farelo e da torta de babaçu (*Orbigya martiana*). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.63, n.1, p.136-142, 2011.
- FARRELL D. J.; JOHNSON K. A. Utilization of cellulose by pigs and its effects on caecal function. **Animal Production**, v. 14, p. 209-217, 1970.

- FÁVERO, J. A. Carne suína de qualidade: uma exigência do consumidor moderno. In: Congresso Latinoamericano de Suinocultura, 1., 2002 **Anais...**, Foz do Iguaçu, PR, 2002. p. 56-65.
- FRAGA, A. L.; THOMAZ, M. C.; KRONKA, R. N.; BUDIÑO, F. E. L.; HUAYNATE, R. A. R.; MALHEIROS, E. B. Restrição alimentar qualitativa para suínos com elevado peso de abate. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.5, p. 869-875, 2008.
- FRANCE, J.; DHANOA, M.S.; THEODOROU, M.K.; LISTER, S.J.; DAVIS, D.R.; ISAC, D. A model to interpret gas accumulation profiles associated with *in vitro* degradation of ruminant feeds. **Journal Theoretical of Biology**, v.163, p.99-111, 1993.
- FURTADO, P.A. Viabilidade econômica do uso de cana-de-açúcar na alimentação de suínos em fase de crescimento e terminação. **Revista Porkworld**, v.8, p. 94-98, 2002.
- GARCIA, C. C.; COSTA, B. J.; VECHIATTO, W. W. D.; ZAGONEL, G. F.; SUCHEK, E. M.; ANTONIOSI FILHO, N. R.; LELES, M. I. G. **Estudo Comparativo da Estabilidade Oxidativa de Diferentes Biodiesel por Termogravimetria (TG) e Teste Rancimat**. CERBIO: Centro Brasileiro de Referência em Biocombustíveis – Instituto de Tecnologia do Paraná – TECPAR. 2006. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2006/>>. Acesso em: 28 abr. 2015.
- GERON, L.J.V. Utilização de resíduos agroindustriais na alimentação de animais de produção. **Pubvet**, v.1, n.9, ed. 9, Art. 312, 2007. Disponível em: <http://www.pubvet.com.br/artigos_det.asp?artigo=312> Acesso em: 05 fev. 2015.
- GETACHEW, G.; BLÜMMEL, M.; MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K. *In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v.72, p.261-281, 1998.
- GOMES, J. D. F.; PUTRINO, S. M.; GROSSKLAUS, C.; UTIYAMA, C. E.; OETTING, L. L.; SOUZA, L. W. O.; FUKUSHIMA, R. S.; FAGUNDES, A. C. A.; SOBRAL, P. J. A.; LIMA, C.G: Efeitos do incremento de fibra dietética sobre a digestibilidade, desempenho e características de carcaça: I. Suínos em crescimento e terminação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 3, p. 483-492, 2007.
- GOMES, J. D. F.; FUKUSHIMA, R. S.; PUTRINO, S. M.; GROSSKLAUS, C.; LIMA, G. J. M. M. Efeitos do incremento da fibra em detergente neutro na dieta de suínos sobre a morfologia dos órgãos digestivos e não digestivos. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, Brasil, v. 43, n. 2, p. 202-209, 2006.
- GOMES, B.V.; QUEIROZ, A.C.; FONTES, C.A.A. Estudo das características físico-químicas de fenos de palhas. II. Efeito sobre a degradabilidade “in situ” da matéria seca, proteína bruta e fibra detergente neutro. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.23, n.2, p.292-304, 1994.
- GROOT, J.C.J.; CONE, J.W.; WILLIAMS, B.A. DEBERSAQUES, F.M.A.; LANTINGA, E.A. Multiphasic analysis of gas production kinetics for *in vitro* fermentation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**. v.64, p.77-89, 1996.
- HIANE, P.A. BALDASSO, P.A.; MARANGONI, S.; MACEDO, M.L.R. Chemical and nutritional evaluation of kernels of bocaiuva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n.3, p.683-689, 2006.

- JOHNSTON, L.J.; NOLL, S.; RENTERIA, A.; SHURSON, J. Feeding by products high in concentration of fiber to non ruminants. In: Third national symposium on alternative feeds for livestock and poultry held in Kansas city. **Anais...** Kansas City: p. 1-26, 2003.
- KIEN, C.L.; BLAUWIEKEL, R.; BUNN, J.Y.; JETTON, T.L.; FRANKEL, W.L.; HOLTS, J.J. Cecal infusion of butyrate increases intestinal cell proliferation in piglets. **Journal of Nutrition**, v.137, p. 916- 922, 2007.
- KING, R.H.; TAVERNER, M.R. Prediction of the digestible energy in pig diets from analyses of fiber contents. **Animal Production**, v.21, p.275-284, 1975.
- KRISHNAN, S.; RAMAKRISHNA, B. S; BINDER, H. J. Stimulation of sodium chloride absorption from secreting rat colon byshort-chain fatty acids. **Digestive Diseases Sciences**. v. 44, p. 1924–1930, 1999.
- LAVRENCIC, A.; STEFANON, B.; SUSMEL, P. An evaluation of the Gompertz model in degradability studies of forage chemical components. **Animal Science**. v.64, p.423-431, 1997.
- LESER, T.D.; AMENUVOR J.Z.; JENSEN, T.K.; LINDECRONA, R.H.; BOYE, M.; MOLLER, K. Culture-independent analysis of gut bacteria: the pig gastrointestinal tract microbiota. **Applied and Environmental Microbiology**, v.68, p. 673- 690, 2002.
- LUHRS, H.; GERKE, T.; MULLER, J.G.; MELCHER, R.; SCHAUBER J.; BOXBERGER, F.; SCHEPPACH, W.; MENZEL, T. Butyrate inhibits NF-kappaB activation in Lamina Propria Macrophages of Patients with Ulcerative Colitis. **Scandinavian Journal of Gastroenterology**, v. 37, p. 458-466, 2002.
- MAURICIO, R.M.; MOULD, F.L.; DHANOA, M.S.; OWEN, E.; CHANNA, K.S.; THEODOROU, M.K. A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. **Animal Feed Science and Technology**, v.79, p.321-330, 1999.
- MAURÍCIO, R.M.; PEREIRA, L.G.R.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUEZ, N.M.; MARTINS, R.G.R.; RODRIGUES, J.A.S. Potencial da Técnica *in vitro* Semi-Automática de Produção de Gases para Avaliação de Silagens de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 4, p. 1013-1020, 2003.
- MENDES FILHO, J.L.; MARCHI, E.C.S.; NEVES, J.E.G.; PIMENTEL, V.C. Frutos da macaubeira – uma alternativa para a alimentação animal. **Caderno de Agroecologia**, v. 6, n.2, 2011.
- MENKE, K.H.; RAAB, L.; SALEWSKI, A.; STEINGASS, H.; FRITZ, D.; SCHNEIDER, W. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. **The Journal of Agriculture Science**, v.93, n.1, p.217-222, 1979.
- MERTENS, D.R.; LOFTEN, J.R. The effect of starch on forage fiber digestion kinetics *in vitro*. **Journal of Dairy Science**. v.63, p. 1437-1446, 1980.
- McDOUGALL, G. L.; MORRISON, I. M.; STEWART, D.; HILLMAN, J. R. Plant cell walls as dietary fiber range, structure, processing and function. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 70, p. 133-150, 1996.

- MONTAGNE, L.; PLUSKE, J.R.; HAMPSON, D.J. A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. **Animal Feed Science and Technology**. v.108, p.95-117, 2003.
- MOTTA, P.E.F.; CURI, N.; OLIVEIRA FILHO, A.T.; GOMES, J.B.V. Ocorrência da macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.7, p.1023-1031, 2002.
- MOREIRA, J. M. M. A. P.; SOUSA, T. C. R. Macaúba: oportunidades e desafios. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**. 2009 Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/noticias/artigosmidia/publicados/163/>>. Acesso em: 07 fev. 2015.
- NOBLET, J.; LE GOFF, G. Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs. **Journal Animal Science**, v.90, p. 35-52, 2001.
- NRC. **Nutrient requirements of swine**. 10 ed. Washington: National Academy, p. 189 1998.
- NUNES I. J. **Nutrição animal básica**. 2 ed. Belo Horizonte: FEP-MVZ Editora, 1988. p. 122-151.
- ORSKOV, E.R.; MCDONALD, I. the estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **Journal of Agricultural Science**. v.92, p. 499-503, 1979.
- PELL, A.N.; SCHOFIELD, P. Computerised monitoring of gas production to measure forage digestion. **Journal of Dairy Science**. v.76, p.1063-1073, 1993.
- POND, W. G. Plant fiber utilization by pigs. **Pig News Information**, v.10, n.1, p. 13-15, 1989.
- POTT, A; POTT, V.J. **Plantas do Pantanal**. 1 ed. Brasília: EMBRAPA, 1994, 320 p.
- RAMONET, Y.; MEUNIER-SALAÜN, M.C.; DOURMAD, J.Y. High-fiber diets in pregnant sows: digestive utilization and effects on the behavior of the animals. **Journal of Animal Science**, v. 77, p. 591-599, 1999.
- ROBERT, S., MATTE, J.J., FARMER, C., GIRARD, C.L., MARTINEAUS, G.P. Highfiber diets for sows: effects on stereotypes and adjunctive drinking. **Applied Animal Behavior Science**., v.37, p.297-309, 1993.
- ROQUE N.C.; JOSÉ, V.A.; AQUINO, A.A.; ALVES, M.P.; SAAD, F.M.O.B. Utilização da fibra na nutrição de cães. **Boletim Agropecuário**, Lavras, n. 70, p. 1-12, 2006.
- ROSA, A.P.; UTTPATEL, R. Uso de enzimas nas dietas para frangos de corte. IN: VIII Simpósio Brasil Sul de Avicultura, 2007, Chapecó. In: **Anais...Chapecó**, p.102-115, 2007.
- ROSCOE, R.; RICHETTI, A.; MARANHO, E. Análise de viabilidade técnica de oleaginosas para produção de biodiesel em Mato Grosso do Sul. **Revista de Política Agrícola**, v, 16, n. 1, p 48-59, 2007.

- RYMER, C.; HUNTINGTON, J.A.; WILLIAMS, B.A. GIVENS, D.I. *In vitro* cumulative gas production techniques: history, methodological considerations and challenges. **Animal Feed Science and Technology**, v.123-124, p.9-30, 2005.
- SAKATA, T.; INAGAKI, A. Organic acid production in the large intestine: implication for epithelial cell proliferation and cell death. In: PIVA, A., BACH KNUDSEN, K. E., LINDBERG, J. E. **The Gut Environment of Pigs**. Nottingham University Press, Nottingham, 2001, p. 85–94.
- SALIS, S.M.; MATTOS, P.P. Fenologia de *Acrocomia totai* Mart. e *Copernicia alba* Morong. no Pantanal. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 2. Londrina, 1996. **Resumos...** Londrina: Universidade Estadual de Londrina e Sociedade de Ecologia do Brasil, 1996.
- SCARIOT, A. LLERAS, E.; HAY, J.D. Flowering and fruiting phenologies of the palm *Acrocomia aculeata*: patterns and consequences. **Biotropica**, Lawrence, v. 27, n. 2, p.168-173, 1995.
- SCHOFIELD, P.; PITT, R.E.; PELL, A.N. Kinetics of fiber digestion from in vitro gas production. **Journal of Animal Science**. v.72, p. 2980-2991, 1994.
- SCHULZE, H.; VAN LEEUWEN, P.; VERSTEGEN, M. W. A. Effect of level of dietary neutral detergent fiber on ileal apparent digestibility and ileal nitrogen losses in pigs. **Journal of Animal Science**, v.72, n.9, p.2362-2368, 1994.
- SOUFFRANT, W. B. Effect of dietary fibre on ileal digestibility and endogenous nitrogen losses in the pig. **Animal Feed Science and Technology**, v. 90, p. 93-102, 2001.
- TAVERNARI, C.F.; CARVALHO, A.T.; ASSIS, P. A.; LIMA, D. J. H. Polissacarídeo Não-Amiláceo Solúvel na Dieta de Suínos e Aves. **Revista Eletrônica Nutritime**, v.5, n.5, p. 673-689. Setembro/Outubro 2008.
- TEIXEIRA, E. W. Utilização de alimentos fibrosos pelos suínos. **Zootecnia**, v. 33, n. 1, p. 19-27, 1995.
- THEODOROU, M.K.; WILLIAMS, B.A.; DHANOA, M.S.; MCALLAN, A.B.; FRANCE, J. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminants feeds. **Animal Technology Feed Science**, v.48, p.185-197, 1994.
- THERKILDSEN, M.; RIIS, B.; KARLSSON, A.; KRISTENSEN, L.; ERTBJERG, P.; PURSLOW, P.P.; AASLYNG, J.M.; OKSBJERG, N. Compensatory growth response in pigs, muscle protein *turnover* and meat texture: effects of restriction/realimentation period. **Animal Science**, v.75, p 367-377, 2002.
- TROWELL, H.C.; GODDING, E.; SPILLER, G.; HEATON, K. Fiber bibliographies and terminology. **The American Journal of Clinical Nutrition** v.31. P.1489-1490.1978.
- TUNGLAND, B.C.; MEYER, D. Nondigestible oligo and polysaccharides (dietary fiber): their physiology and role in human and health food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.1, p.73-77, 2002.

- WAGHORN, G.C.; STAFFORD, K.J. Gas production and nitrogen digestion by rumen microbes from deer and sheep. **New Zealand Journal of Agricultural Research**. v.36, n.4, p.493-497, 1993.
- WILFART, A.; MONTAGNE, L.; SIMMINS, P.H.; VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. Sites of nutrient digestion in growing pigs: effect of dietary fiber. **Journal Animal of Science**, v.85, p. 976-983, 2007.
- WILLIAMS, B.A., VERSTEGEN, M.W.A.; TAMMINGA, S. Fermentation in the large intestine of single-stomached animals and its relationship to animal health. **Nutrition Research Review**,v.14, p.207-227, 2001.
- YEN J. Anatomy of the Digestive System and Nutritional Physiology In: LEWIS A. J.; SOUTHERN L. L. **Swine Nutrition**. 2 ed. Florida: CRS, 2001. p. 36-38
- VANDERHOOF, J.A. Immunonutrition: the role of carbohydrates, **Nutrition Research Review**, v. 14, n. 7/8, 1998.
- VAN SOEST, P.J. **The role of silicon in the nutrition of plants and animals**. Proceedings of the Cornell Nutrition Conference, p. 103-109, 1970.
- VAREL, V.H.; YEN, J.T. Microbial perspective on fiber utilization by swine. **Journal Animal Science**, v.75, p. 2715-2722, 1997.

CAPITULO 2

1. RESUMO

POTENCIAL FERMENTATIVO DO INÓCULO DE CECO DE SUÍNOS EM CRESCIMENTO UTILIZANDO COPRODUTOS DA MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*) NA DIETA

ALUNO: Carlos Augusto da Silva Junior¹

ORIENTADOR: Dr. Rodrigo Diana Navarro²

¹Universidade de Brasília – UnB

²Universidade de Brasília – UnB

O presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial fermentativo e degradabilidade da matéria seca (DMS) de co-produtos da macaúba (*Acrocomia aculeata*), utilizando três tipos de inóculo: ceco de suínos criados ao ar livre (CSF), ceco de suínos criados confinados (CSC) e líquido ruminal de bovino (LRB), através da técnica de produção de gás *in vitro*. Os substratos utilizados derivaram de uma dieta de suínos (dieta basal) a base de farelo de soja e grãos de milho atendendo as exigências nutricionais dos suínos. Para composição dos substratos foram estabelecidos diferentes níveis de substituição da dieta basal pela torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata* (AA), sendo: BAS - 100% de dieta basal; M10 - 90% de dieta basal e 10% AA; M20 - 80% de dieta basal e 20% AA e o TF – feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*). A produção de gases foi avaliada nos tempos de 0, 3, 6, 9, 12, 16, 24, 48, 72 e 96 horas após a incubação, analisando potencial máximo de produção de gás (A), tempo de colonização (L) e taxa de produção de gás (μ). A DMS foi avaliada em 24 e 96 horas. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial 4 x 3. Os

dados de A, L, μ e DMS foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%. A DMS em 24h pelos inóculos, apenas apresentou significância para M10 e TF, sendo que em M10 os inóculos CSC (73,20%) e CSF (72,39%) não diferiram entre si e LRB (70,38%) foi menor do que CSC e similar a CSF. Ao analisar a DMS em 96h não houve diferença entre os inóculos quando utilizado os substratos BAS, M10 e M20. A taxa de DMS dos substratos tanto em 24h quanto em 96h foram maiores para BAS e menores para TF em todos os inóculos. O parâmetro μ (ml/gMS/h) de CSC foi maior quando o substrato foi M10, CSF e LRB não diferenciaram entre si. Já em BAS não houve diferença entre os inóculos. O substrato que apresentou maior A (ml/gMS) para os três inóculos foi BAS e o que apresentou o menor foi TF. Os substratos M10 e M20 foram similares e menores que BAS para A. Comparando os inóculos para A (ml/gMS), LRB e CSF, apresentaram valores similares, diferindo apenas para TF, mostrando semelhança entre esses dois inóculos. A inclusão de 10 e 20% de torta da amêndoa da macaúba na dieta basal provocou a diminuição da capacidade fermentativa e da degradabilidade das dietas, indicando qualidade inferior a dieta referência. Os inóculos estudados apresentaram proximidades em relação a produção de gases e degradabilidade da matéria seca, principalmente entre líquido ruminal bovino e ceco de suíno criado ao ar livre, mostrando semelhança entre esses inóculos.

Palavras-chave: alimentos alternativos, fibra dietética, produção de gases *in vitro*

2. ABSTRACT

POTENTIAL FERMENTATION OF INOCULUM FROM GROWING SWINE CECA USING MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*) COPRODUCTS IN THE DIET

STUDANT: Carlos Augusto da Silva Junior¹

TUTOR: PhD. Rodrigo Diana Navarro²

¹University of Brasília – UnB

²University of Brasília – UnB

This study aimed to evaluate the fermentation potential and degradability dry matter (DMD) of macaúba (*Acrocomia aculeata*) co-products, using three types of inoculum: swine ceca raised in a free range system (CSF), swine ceca raised in a conventional confined system (CSC) and bovine rumen fluid (LRB), through the *in vitro* gas production technique. The substrates used were derived from a swine diet (basal diet) based in soybean meal and corn grits to meet the nutritional requirements of swines. To establish the substrates were set different levels of substitution of basal diet by meal almond *Acrocomia aculeata* (AA), as follows: BAS - 100% of basal diet; M10 - 90% of basal diet and 10% AA; M20 - 80% of basal diet and 20% AA and TF - Tifton 85 hay (*Cynodon spp.*). Gas production was evaluated at times 0, 3, 6, 9, 12, 16, 24, 48, 72 and 96 hours after incubation, analyzing maximum potential gas production (A) lag time (L) and gas production rate (μ). DMS was assessed at 24 and 96 hours. The experimental design was completely randomized in a factorial arrangement 4 x 3. The data A, L, μ and DMD were submitted to analysis of variance and means compared by Tukey's 5% test. The DMD in 24 hours the inoculum, only had significance for M10 and TF, and in the M10 CSC inoculum (73,20%) and CSF (72,39%) did not differ and LRB (70,38%) was lower than CSC and similar to CSF. By analyzing the DMD in 96 hours there was no difference between the inoculum used when the BAS substrates, M10 and M20. DMD

rate of substrate both in 24 and 96 hours were higher and lower BAS TF in all inocula. The parameter μ (ml / gDM / h) CSC (0,044) was higher when the substrate was M10, CSF (0,036) and LRB (0,036) did not differ between them. In BAS, there was no difference between the inoculum. The substrate with the highest A (ml / gDM) for the three inoculum was BAS and the one with the lowest was TF. The M10 and M20 substrates were similar and smaller than BAS to A, indicating loss of AA inclusion in the diet relative to diet BAS reference. Comparing the inoculum for A (ml / gDM), LRB and CSF showed similar values, differing only for TF, showing similarity between these two seed. The inclusion of 10 and 20% almond meal macaúba in basal diet resulted in decreased fermentation capacity and degradability of diets, indicating lower quality reference diet. The inoculum studied had nearby in relation to gas production and degradability of the dry matter, especially among bovine rumen fluid and swine ceca created outdoors, showing similarity between these inoculants.

Keywords: alternative feeds, dietary fiber, *in vitro* gas production

3. INTRODUÇÃO

No Brasil existe uma grande produção de coprodutos agrícolas fibrosos, como os farelos de grãos e, por esta razão o fornecimento de fibra na alimentação animal tem sido estimulado e novas fontes de alimentos alternativos estão sendo procuradas (CICONINI, 2012).

Os resíduos provenientes da cadeia produtiva do biodiesel são subprodutos da agroindústria ricos em fibra dietética e podem ser utilizados como ingredientes alimentares alternativos para os suínos (GERON, 2007). A Macaúba (*Acrocomia aculeata*), assim como resíduo do biodiesel pode ser uma boa opção para introdução na dieta suína, devido a sua produtividade, que pode ultrapassar de 30 toneladas/ha, além de ser rústica e bem adaptada às condições do Cerrado é resistente à seca (MOREIRA & SOUSA, 2009).

Segundo Brouns et al. (1994) e Ramonet et al. (1999) a fibra dietética vem sendo utilizada como fonte de energia para os monogástricos, em especial para suínos destinados ao abate, machos reprodutores, marrãs e fêmeas em gestação.

Os componentes dietéticos da fibra são minimamente digeridos no intestino delgado de suínos, porém providenciam substrato para a fermentação microbiana no intestino grosso, sendo os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) os principais produtos desta fermentação (NRC, 1998).

As técnicas *in vitro* de produção de gases são capazes de simular o ambiente microbiano e a digestão enzimática (THEODOROU et al., 1994) e baseiam-se na estimativa do volume de gases produzidos por meio da leitura direta com seringas graduadas ou por conversão de volume a partir de dados de pressão (MAURÍCIO et al., 2003).

A técnica de produção de gases desenvolvida por Theodorou et al. (1994) caracteriza-se pela leitura manual do volume de gases produzidos através de uma seringa plástica graduada. Maurício et al. (1999), adaptaram a metodologia desenvolvida por

Theodorou et al. (1994), ao substituírem o uso de seringas para realização das leituras de volume de gás produzido por instrumentos que permitiam a captura direta de dados, o que levou a redução do tempo despendido durante as leituras, além de reduzir o erro potencial associado as mensurações.

Quando obtido o perfil de produção de gases, dispõem-se diversos modelos matemáticos para descrevê-los. Um dos modelos matemáticos mais utilizados é o de France et al. (1993). A descrição matemática das curvas de produção de gases permite a análise dos dados, a comparação dos substratos e a evolução de diferentes ambientes de fermentação, proporcionando informações sobre a composição do substrato estudado e das taxas de fermentação dos constituintes solúveis e estruturais dos substratos (FARIAS et al., 2011).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial fermentativo da inclusão de coprodutos da macaúba na dieta, avaliando produção cumulativa de gases e degradabilidade *in vitro* da matéria seca, utilizando inóculo de ceco de suínos criados ao ar livre, ceco de suínos criados confinados e líquido ruminal de bovino, validando o uso da metodologia de produção de gases *in vitro* usada para ruminantes em suínos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Nutrição Animal (LNA), da Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília (UnB), localizada no Núcleo Rural Vargem Bonita, Brasília, Distrito Federal (DF) a 15° 47' de latitude sul e 47° 56' de longitude oeste e altitude média de 1080 m.

No ensaio foram utilizados três tipos diferentes de inóculo para a fermentação e análise de produção de gases: líquido extraído de ceco de suínos abatidos e criados em sistema convencional confinado (CSC) e líquido extraído de ceco de suínos abatidos e criados em sistema ao ar livre (CSF) e como controle o líquido ruminal de bovino fistulado (LRB).

Os substratos utilizados derivaram de uma dieta de suínos (dieta basal) a base de farelo de soja e grãos de milho atendendo as exigências nutricionais dos animais estabelecidas pelo NRC (1998) e composição centesimal dos alimentos segundo Rostagno et al. (2005). Para composição dos substratos foram estabelecidos diferentes níveis de substituição da dieta basal pela torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata* (AA), substrato 1 - 100% de dieta basal (BAS) (Figura 2.1A); substrato 2 - 90% de dieta basal + 10% AA (M10) (Figura 2.1B); Substrato 3 - 80% de dieta basal + 20% AA (M20) (Figura 2.1C) e o substrato 4 - feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*) (TF) (Figura 2.1D). As dietas BAS, M10 e M20 eram fareladas e o TF foi moído em moinho de faca tipo *wyllie*.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial 4 x 3, com os fatores representados pelos substratos (BAS, M10, M20 e TF) e inóculos (CSF, CSF e LRB). Os dados referentes ao potencial máximo de produção de gases (A), tempo de colonização em horas (L), taxa de produção de gases (μ), degradabilidade da matéria seca, obtidos em diferentes intervalos de tempo, foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, por meio do *software* (SAS, 2000).

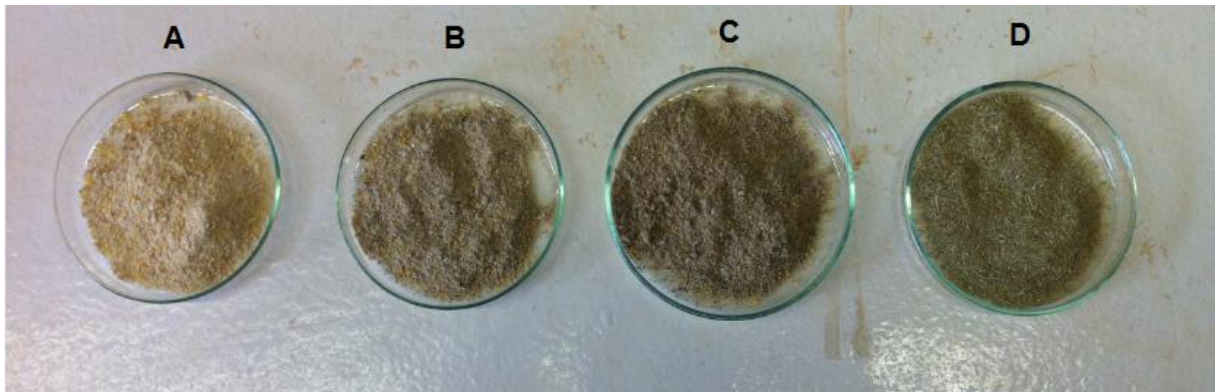


Figura 2.1 Amostras de substratos: (A) 100% de dieta basal; (B) 90% de dieta basal e 10% AA (M10); (C) 80% de dieta basal e 20% AA (M20); (D) feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*) (TF).

Fonte - Arquivo Pessoal

Foram utilizados para coleta de ceco, doze suínos com idade média de 92 dias com peso médio de 34,8 kg criados em sistema ao ar livre da Fazenda Água Limpa (UnB), onde foram criados em piquetes com pastagem nativa e alimentados com dieta comercial, e doze suínos criados em sistema convencional confinado em cama sobreposta, alimentados com dieta comercial, e com idade média de 150 dias com peso médio de 105 Kg. O líquido ruminal foi colhido de um bovino adulto, fistulado, mantido em pastagem de *Brachiaria brizantha*.

Os cecos dos suínos foram coletados em abatedouro comercial (Figura 2.2). O abate de cada suíno foi monitorado até a retirada do trato digestório dos animais, quando foi realizada a identificação e secção dos cecos. Para evitar o extravazamento do conteúdo as extremidades de cada ceco foram amarradas com barbante de algodão e estes acondicionados em sacos plásticos identificados. O trato digestório de cada animal foi extraído sem contato com água fria evitando-se a queda de temperatura interior e a morte dos micro-organismos dos cecos. Após a retirada, os cecos foram armazenados em caixas térmicas com bolsas de água aquecida, mantendo a temperatura interior da caixa por volta de 39 °C e separados de acordo com o seu sistema de criação e posteriormente transportados até o Laboratório de Nutrição Animal (LNA).

O ensaio *in vitro* de produção de gases foi realizado de acordo com Theodorou et al. (1994) com adaptações de Mauricio et al. (1999). O ensaio foi iniciado em 17 de julho e encerrado em 21 de julho de 2014.



Figura 2.2 - (A) Cecos de suínos criados ao ar livre 1 hora pós coleta. (B) Cecos de suínos criados em sistema convencional confinados 1 hora pós coleta.

Fonte: Arquivo pessoal.

O conteúdo ruminal foi coletado no final do período da manhã, transferido para uma garrafa térmica e levado imediatamente ao LNA, chegando simultaneamente com os cecos coletados no abatedouro.

No LNA o líquido dos cecos foi extraído, através de uma incisão na curvatura maior dos cecos feita com uma tesoura cirúrgica e armazenado em beckers de 2 litros. O conteúdo extraído foi mantido separado de acordo com o sistema de criação dos animais. Cada material foi homogeneizado e filtrado em duas camadas de tecido de algodão, sendo mantidos em diferentes balões de Erlenmeyer no banho-maria a 39 °C sob saturação de CO₂ (Figura 2.3).



Figura 2.3 - Filtrado dos inóculos em banho-maria.

Fonte - Arquivo pessoal.

Amostras de 0,5 g dos substratos a serem avaliados foram pesadas e lacradas em sacos F57 ANKOM[®] identificados anteriormente. Para a fermentação das amostras utilizou-se frascos de vidro com volume aferido de 160 mL (Figura 2.4A), previamente lavados com água destilada e secos em estufa. Aos frascos, previamente identificados, foram

adicionados os sacos contendo 0,5g dos substratos a serem testados conforme Beuvink & Spoelstra (1992), juntamente com 90 mL de meio de cultura tamponante (THEODOROU et al., 1994) (Figura 2.4B) e 10 mL do inóculo correspondente, sendo vedados com rolhas de borracha e lacres metálicos (Figura 2.4C). Após rápida agitação manual, a fim de homogeneizar o conteúdo, os frascos foram dispostos aleatoriamente em estufa com circulação forçada de ar a 39 °C, sendo este considerado o tempo zero (Figura 2.4D).

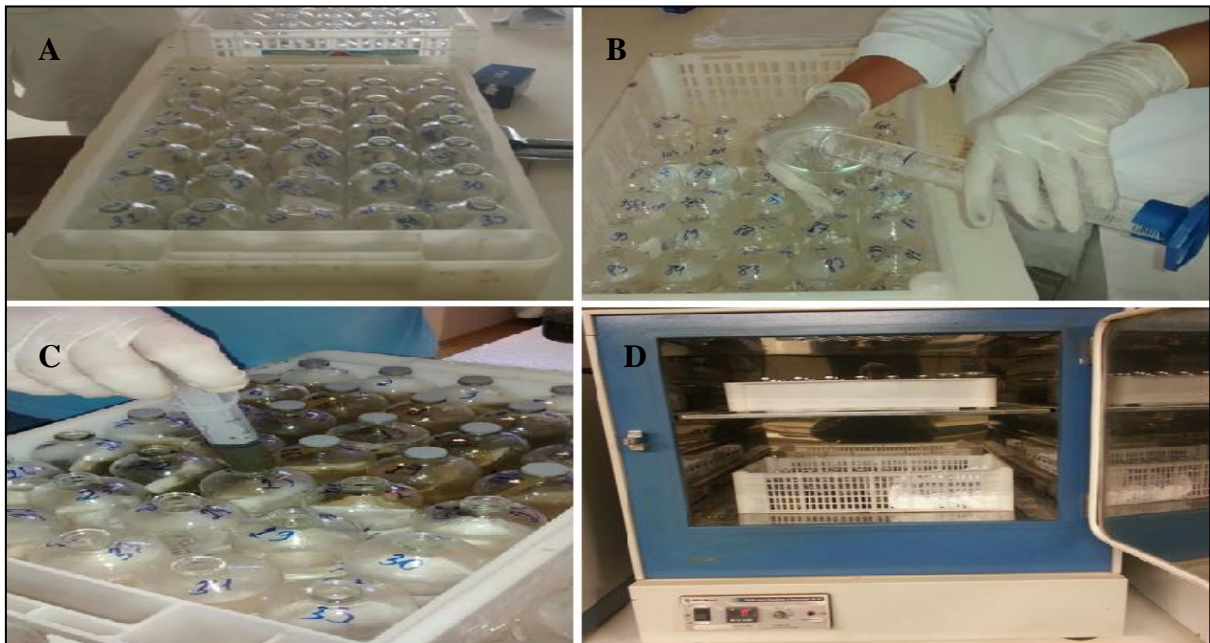


Figura 2.4 - Processo de inoculação - (A) Vidros 160 ml identificados; (B) 90 ml de meio de cultura tamponante; (C) 10 ml de inóculo correspondente e vedação do frasco; (D) Armazenamento em estufa forçada de ar a 90 °C.

Fonte - Arquivo pessoal

Foram incubados 108 frascos, 24 destes contendo apenas o inóculo e o meio de cultura tamponante como controle (brancos), utilizados para determinar a produção de gases proveniente do conteúdo ruminal e cecal para posterior correção da produção líquida de gases. Em 36 frascos com 3 repetições de cada tratamento (BAS, M10, M20 e TF) por inóculo (RLB, CSF e CSC). Foram usados para avaliação até 24 horas pós-incubação e foram retirados e determinada a degradabilidade da matéria seca. Nos 48 frascos restantes com 4 repetições de cada tratamento por inóculo, foram feitas medições até 96 horas pós-incubação.

As leituras de pressão (psi) para determinação da produção de gases foram realizadas com 3, 6, 9, 12, 16, 24, 36, 48, 72 e 96 horas após a incubação, por meio de um transdutor de pressão modelo *Press Data*, conectado a uma válvula de três saídas, sendo uma saída ligada ao transdutor, outra a uma agulha 25 mm x 0,7 mm e a terceira livre para remoção do gás após a leitura (Figura 2.5).



Figura 2.5 - Leitura de pressão de gás (psi) nas garrafas de fermentação, por meio de um transdutor de pressão modelo *Press Data*.

Fonte - Arquivo pessoal

Os dados de pressão obtidos em PSI foram transformados em volume de gás produzido por meio da equação descrita por Guimarães Júnior et al. (2008), para as condições de temperatura e pressão atmosférica de Brasília, DF : Volume (mL) = 4,50231 x pressão (PSI) + 0,05164 x pressão² (R² = 0,996).

A cinética de produção de gases em cada tratamento foi determinada segundo o modelo descrito por France *et al.* (1993). utilizando-se a ferramenta Solver presente no software Microsoft Excel 2010:

$$Y = A \{1 - \exp[-b(t-L) - c \cdot x(\sqrt{t} - \sqrt{L})]\}, \text{ em que,}$$

Y = produção cumulativa de gases (mL);

A = potencial máximo de produção de gases (mL);

L = tempo de colonização ou lag time (h);

b (h⁻¹) e c (h^{-0,5}) = taxas fracionais constantes; e

t = tempo (h).

A taxa fracional média (h⁻¹) de produção de gases (μ) foi calculada como:

$$\mu = b + \frac{c}{2\sqrt{t}}, \text{ em que:}$$

$$2\sqrt{t}$$

μ_{48} = taxa de produção de gases após 48h (h⁻¹);

Após a leitura e coleta de gás, nos tempos 24 e 96 horas pós-incubação, removeu-se de cada frasco o saco contendo o resíduo da amostra não degradada, sendo este submetido a uma série de lavagens com água destilada, seguida por lavagem com acetona e enxágue, para remoção da massa microbiana. Em seguida os sacos contendo os respectivos

resíduos sólidos foram levados à estufa a uma temperatura de 105 °C por 48 horas. A degradabilidade da matéria seca (DMS), nos diferentes períodos, foi obtida pela diferença de peso entre a matéria seca da amostra antes e após a incubação.

Os substratos, BAS, M10, M20 e TF utilizados no ensaio de produção de gases, foram submetidos a análise de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), lignina, fibra bruta (FB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e carboidratos não-fibrosos (CNF). As amostras foram analisadas de acordo com a metodologia de AOAC (1995) para CNF, FDA, FB, EE, PB, MM, MS e lignina, para FDN a metodologia foi a de Van Soest et al. (1991). Os resultados obtidos das análises estão expostos na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Dados de análise bromatológica dos substratos estudados no ensaio de gases

Parâmetro (% na MS)	Substratos			
	TF	BAS	M10	M20
Matéria seca (MS)	83,44	87,53	86,66	90,38
Proteína bruta (PB)	6,65	26,72	21,27	21,33
Extrato etéreo (EE)	1,30	3,11	4,01	4,63
Matéria mineral (MM)	7,35	5,37	5,89	5,37
Lignina em detergente ácido (LDA)	11,99	1,24	4,57	5,85
Fibra Bruta (FB)	35,84	5,60	6,40	9,90
Fibra em detergente neutro (FDN)	81,89	41,87	45,30	50,62
Fibra em detergente ácido (FDA)	50,34	15,87	18,55	21,84
Carboidratos não-fibrosos (CNF)	2,81	22,93	23,53	18,05

BAS = 100% de dieta basal, M10 = 90% de dieta basal + 10% de *Acrocomia aculeata*, M20 = 80% de dieta basal + 20% de *Acrocomia aculeata* e TF = feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Produção de Gases

A análise de variância dos resultados dos efeitos de inóculos e substratos estudados são apresentados na Tabela 2.2, onde pode ser observadas interações entre as variáveis independentes para potencial máximo de produção de gases (A), tempo de colonização em horas (L) e taxa de produção de gases (μ). Para L e μ não foram verificados efeitos significativos para a variável inóculo. Quando a variável substrato foi analisada verificou-se significância para todos os parâmetros estudados.

Tabela 2.2. Resultados da análise de variância das variáveis inóculos e substratos estudados para potencial máximo de produção de gases (A), tempo de colonização em horas (L) e taxa de produção de gases (μ)

Inóculos (Inoc)	A (mL/g MS)	L (h)	μ (%/h)
LRB	293,76 a	1,881	0,035
CSF	254,28 b	1,656	0,035
CSC	234,05 c	1,248	0,036
Substratos (Subs)	A(mL/g MS)	L(h)	μ (%/h)
BAS	326,04 a	2,037 a	0,041 a
M10	277,23 b	0,907 b	0,039 a
M20	277,29 b	1,494 ab	0,039 a
TF	162,23 c	1,778 a	0,023 b
CV	6,8055	42,5305	9,8258
EPM	17,7418	0,6732	0,0035
	Valor de P	Valor de P	Valor de P
Inoc	<0,0001	NS	NS
Subs	<0,0001	0,0025	<0,0001
Inoc*Subs	<0,0001	0,0070	<0,0001

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna, em cada intervalo, diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). LRB = Líquido ruminal bovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, BAS = 100% de dieta basal, M10 = 90% de dieta basal + 10% de *Acrocomia aculeata*, M20 = 80% de dieta basal + 20% de *Acrocomia aculeata* e TF = feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*). CV = coeficiente de variação, EPM = erro padrão médio

Observa-se na Tabela 2.3 que os inóculos LRB e CSF apresentaram o maior potencial máximo de produção de gases (A), quando o substrato foi o BAS, no caso da M10 o inóculo LRB obteve o maior resultado e CSC o apresentou o menor resultado ($P < 0,05$) e o CSF não diferiu dos dois outros inóculos. O A para LRB foi maior para TF e entre CSF e CSC não houve diferença para esta variável. Não houve diferenças para o potencial máximo de produção de gases entre os inóculos estudados quando o substrato foi o M20.

Nos resultados pode-se observar os substratos BAS, M10 e M20, o inóculo de ceco suíno criado ao ar livre foi similar ao líquido ruminal bovino, indicando similaridade entre potencial fermentativo desses dois inóculos, podendo observar na Figura 2.6 a proximidade dos pontos de CSF e LRO. Essa semelhança dos inóculos pode ter ocorrido devido a maior produção de gás que suínos alimentados com dietas altamente fibrosas apresentam (JENSEN & JORGENSE, 1994).

Tabela 2.3 - Análise de interação e teste de médias para potencial máximo de produção de gases (A) em mL/gMS, comparativo entre inóculos e substratos

Tratamento	A (mL/gMS)			CV	EPM	Valor de P
	LRB	CSF	CSC			
BAS	351,85 A a	337,35 A a	288,92 B a	6,282	20,4819	0,0046
M10	294,85 A b	278,80 AB b	258,05 B b	4,6692	12,9446	0,0096
M20	288,42 b	284,15 b	259,30 b	7,7604	21,5190	0,1741
TF	239,92 A c	116,82 B c	129,92 B c	8,9105	14,4551	<0,0001
CV	7,6993	6,5703	5,2956			
EPM	22,6179	16,7007	12,3945			
Valor de P	0,0002	<0,0001	<0,0001			

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha ou letras minúsculas diferentes na coluna, em cada intervalo, diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). LRB = Líquido ruminal bovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, BAS = 100% de dieta basal, M10 = 90% de dieta basal + 10% de *Acrocomia aculeata*, M20 = 80% de dieta basal + 20% de *Acrocomia aculeata* e TF = feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*). CV = coeficiente de variação, EPM = erro padrão médio.

Dentre os substratos testados, a dieta basal apresentou melhor potencial máximo de produção de gases e o feno de tifton apresentou resultados inferiores ($P < 0,05$) (Tabela 2.3), embora Blummel et al. (1996) tenha associado, menor produção de gases a substratos ricos em amido e atribuído a maior quantidade de fibra a maior capacidade de produção de gases. Os substratos M10 e M20 não diferiram entre si, nos três inóculos estudados ($P > 0,05$), conforme ilustrados na Figura 2.6.

Na Figura 2.7 pode-se observar a curva de produção cumulativa de gases de substratos por inóculos e a diferença entre os substratos, observa-se baixa produção do TF comparada com a maior produção de BAS. Provavelmente devido à baixa qualidade de TF

utilizado, em razão da época do corte do feno, feita de abril a junho, devido a baixa renovação de tecidos na parte aérea e acúmulo de material morto, o que compromete a qualidade do capim e a fermentação (VELÁSQUEZ et al.,2009).

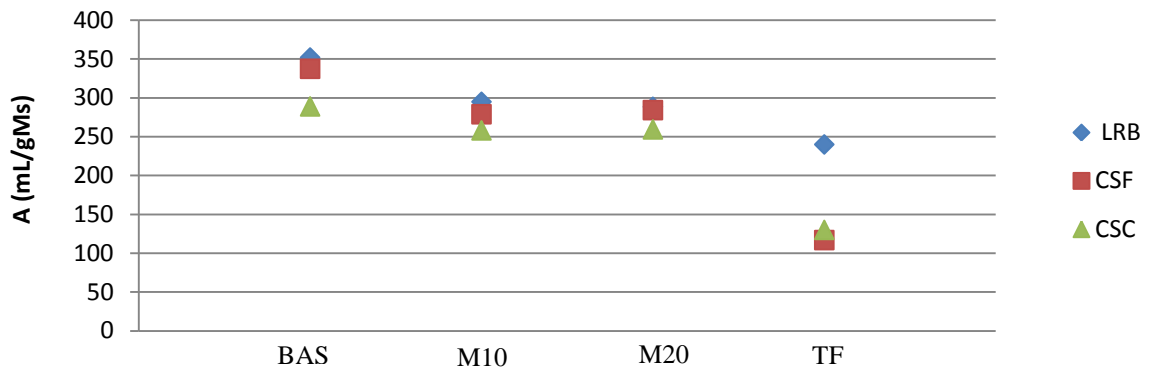


Figura 2.6 - Gráfico de interação do para potencial máximo de produção de gases (A) em mL/gMS, comparativo entre inóculos e substratos. LRB = Líquido ruminal bovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, BAS = 100% de dieta basal, M10 = 90% de dieta basal + 10% de *Acrocomia aculeata*, M20 = 80% de dieta basal + 20% de *Acrocomia aculeata* e TF = feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*).

A Figura 2.8 ilustra a curva de produção cumulativa de gases dos inóculos por substratos, onde se pode observar o tempo (h) de colonização das bactérias (L), da inoculação ao começo da produção de gases, e a produção total de gases. Em todos os casos verifica-se o inóculo LRB esta acima dos demais, com a linha do CSF próximo a esse, demonstrando a similaridade entre esses dois, exceto quando o substrato foi o TF.

De acordo com Zanotto et al. (1998), o tempo de passagem do alimento pelo trato digestivo do suíno é em média 40 horas, com isso ao analisar a Figura 2.8 no tempo aproximado de 40 horas, a produção de gases de ambos inóculos de ceco suíno são próximas à produção às 96 horas indicando ser o ponto focal nos estudos de fermentação *in vitro* para a espécie suína.

O tempo de colonização (L) representa o tempo compreendido entre o início da incubação até a ação microbiana sobre o substrato incubado, assim quanto menor tempo de colonização, mais rápido o início da degradação do alimento e produção de gases (RIBAS et al., 2007). Podemos observar na Tabela 2.4 que apenas houve diferença entre os substratos quando o inóculo foi o LRB, apresentando o M10 o menor e o BAS o maior L ($P < 0,05$), entretanto os inóculos M20 e TF não diferiram dos outros, podendo ser visualizado na Figura 2.9 as distâncias dos pontos de M10 e BAS. De acordo com Guimarães Jr. et al. (2008), as reduções no tempo de colonização são favorecidas pela presença de substratos prontamente fermentáveis e por características físicas e químicas da parede celular da amostra.

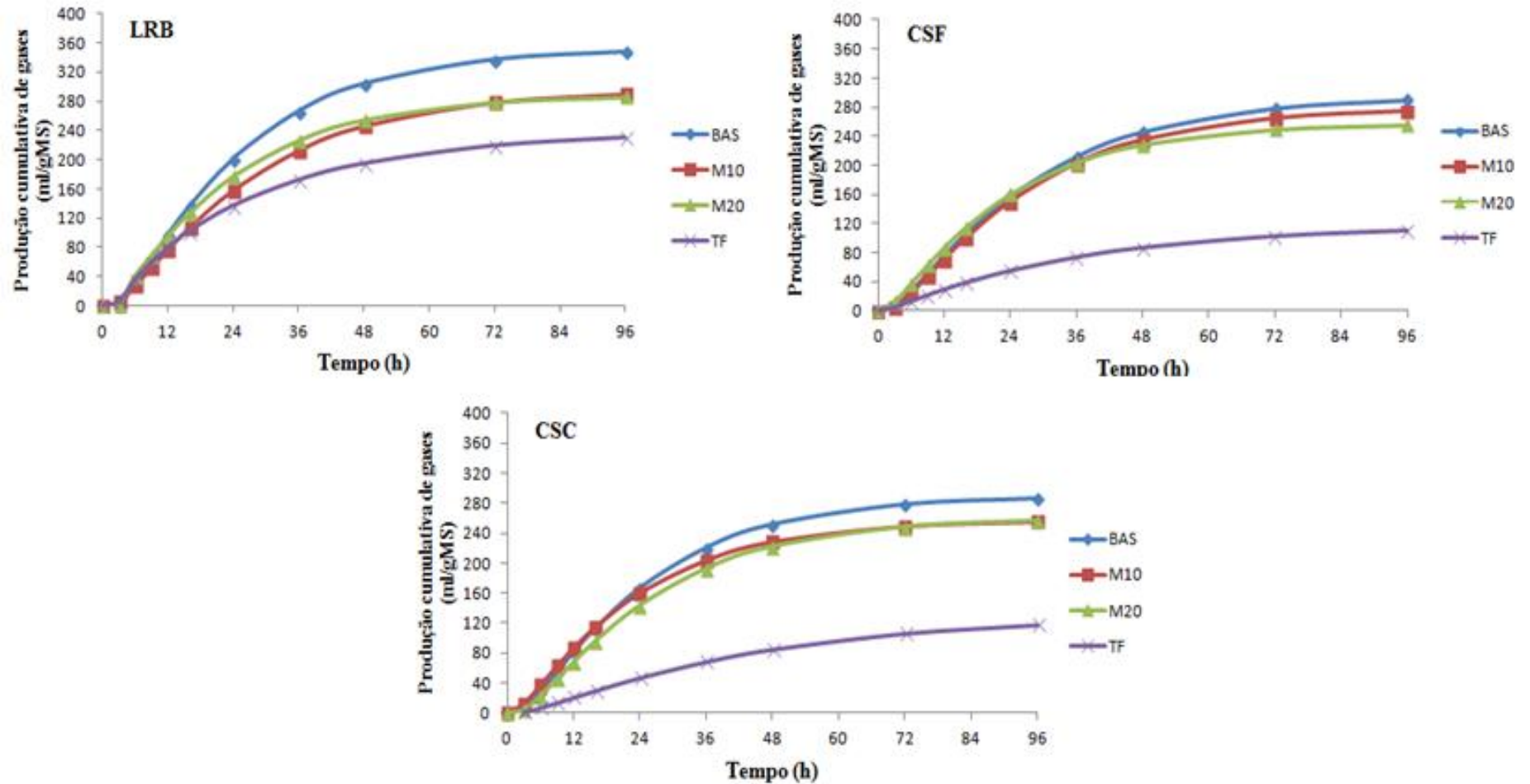


Figura 2.7 Produção cumulativa de gases (mL/gMS) durante 96 horas de processo fermentativo dos inóculos, LRB = Líquido ruminal bovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, entre os substratos BAS = 100% de dieta basal, M10 = 90% de dieta basal + 10% de *Acrocomia aculeata*, M20 = 80% de dieta basal + 20% de *Acrocomia aculeata* e TF = feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*) ajustada ao modelo de France *et al* (1993).

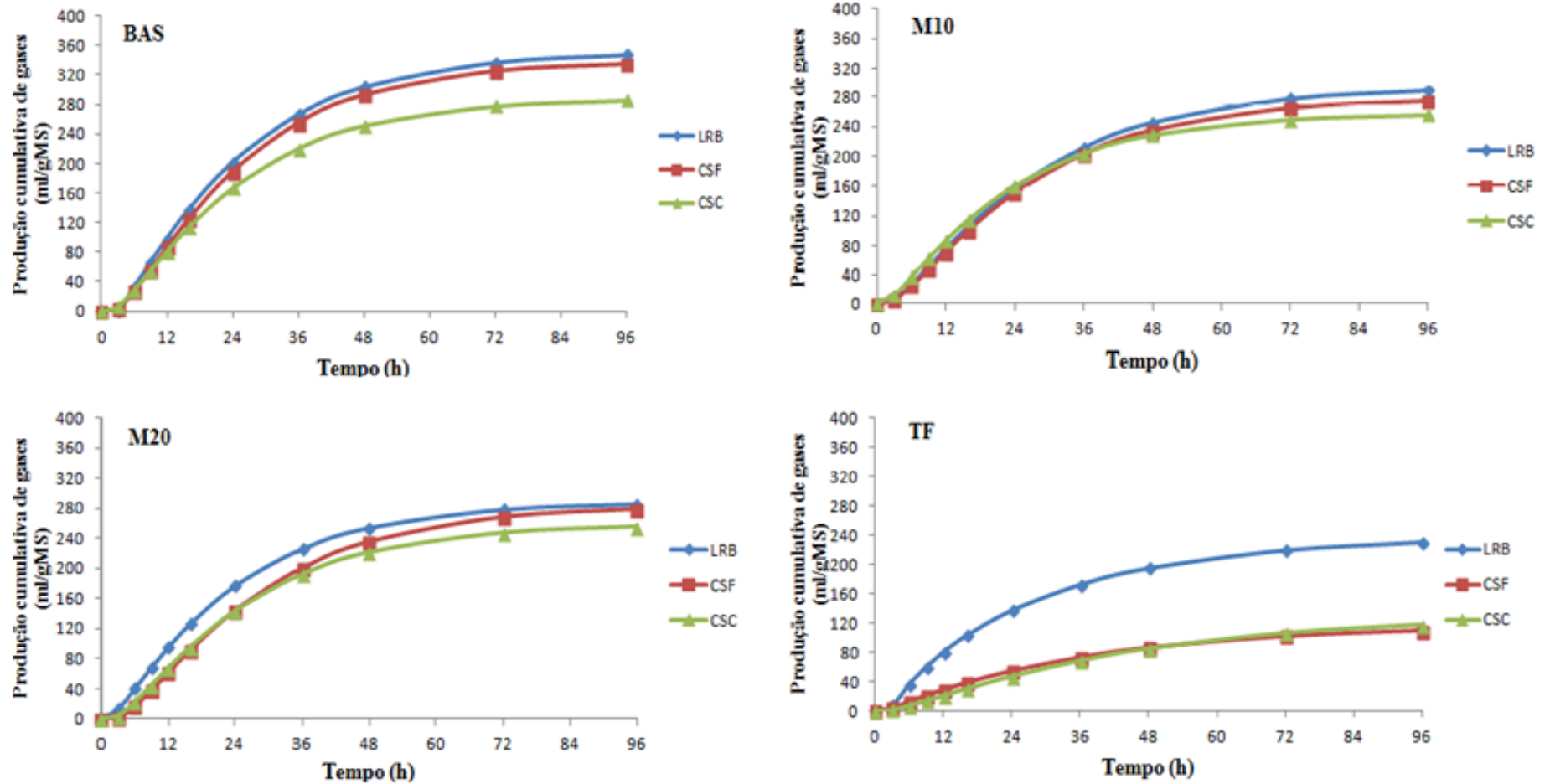


Figura 2.8 - Produção cumulativa de gases (mL/gMS) durante 96 horas de processo fermentativo dos substratos, BAS = 100% de dieta basal, M10 = 90% de dieta basal + 10% de *Acrocomia aculeata*, M20 = 80% de dieta basal + 20% de *Acrocomia aculeata* e TF = feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*) entre os inóculos, LRB = Líquido ruminal bovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado ajustada ao modelo de France *et al* (1993).

Comparando o tempo de colonização entre inóculos (Tabela 2.4), o CSC apresentou o menor tempo de colonização quando a ração foi BAS, sendo o segundo menor tempo de CSF e o maior tempo de LRB ($P < 0,05$) indicando maior adaptação do sistema digestivo de suínos confinados às dietas comerciais. A velocidade da colonização depende da composição da partícula, do tamanho (superfície de contato) e da afinidade do microrganismo pelo alimento (VALADARES FILHO & PINA, 2011). Com os substratos M10 e M20, o inóculo LRB apresentou o menor tempo, CSF o maior tempo e CSC não diferiu de ambos ($P < 0,05$). Não houve diferença significativa entre os inóculos para o substrato TF indicando similaridade na capacidade de iniciar o processo de fermentação com o alimento mais fibroso entre os inóculos estudados.

Tabela 2.4 - Tempo de colonização em horas (L), comparativo entre inóculo de rúmen bovino (LRB), inóculo de ceco suíno criado ao ar livre (CSF), inóculo de ceco suíno criado confinado (CSC) com diferentes substratos .

Tratamento	L (h)			CV	EPM	Valor de P
	LRB	CSF	CSC			
BAS	2,983 A a	1,764 B	1,366 C	9,3428	0,1903	<0,0001
M10	0,537 B b	1,345 A	0,655 AB	36,0629	0,3274	0,0300
M20	0,883 B ab	2,001 A	1,599 AB	35,0305	0,5235	0,0405
TF	2,449 ab	1,514	1,370	64,5597	1,1481	0,3918
CV	52,6219	30,7114	36,5796			
EPM	0,9900	0,5086	0,4565			
Valor de P	0,0273	0,3275	0,0614			

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha ou letras minúsculas diferentes na coluna, em cada intervalo, diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). LRB = Líquido ruminal bovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, BAS = 100% de dieta, M10 = 90% de dieta basal + 10% de *Acrocomia aculeata*, M20 = 80% de dieta basal + 20% de *Acrocomia aculeata* e TF = feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*). CV = coeficiente de variação, EPM = erro padrão médio.

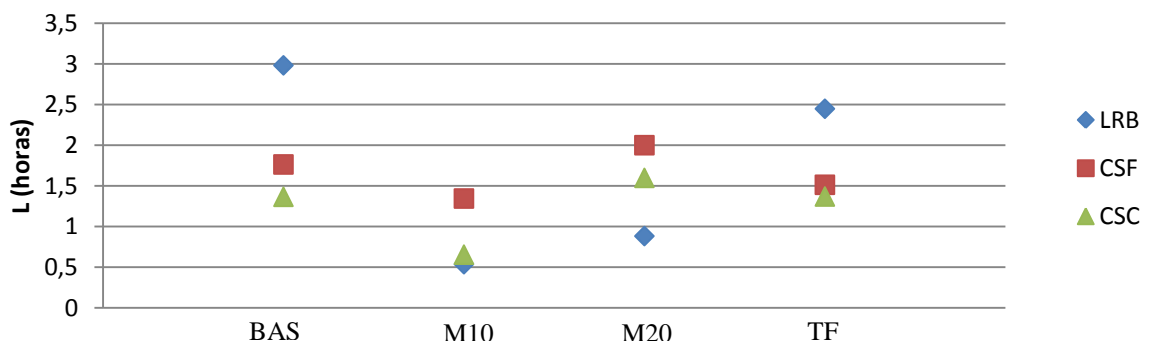


Figura 2.9 – Gráfico de interação do para tempo de colonização em horas (L), comparativo entre inóculos e substratos. LRB = Líquido ruminal bovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, BAS = 100% de dieta basal, M10 = 90% de dieta basal + 10% de *Acrocomia aculeata*, M20 = 80% de dieta basal + 20% de *Acrocomia aculeata* e TF = feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*).

Para taxa de produção de gases (μ) os resultados obtidos (Tabela 2.5) indicam que os inóculos apresentaram efeitos similares para dieta Basal ($P>0,05$). Entretanto, o inóculo CSC apresentou maior taxa para o substrato M10 ($P<0,05$), o CSF e LRB foram similares. O LRB e o CSF apresentaram a maior e a menor taxa de produção de gases respectivamente quando utilizado M20 e não diferiram do CSC. O CSF apresentou melhor taxa quando utilizado o substrato TF, o CSC e LRB apresentaram as menores taxas não diferindo entre si ($P<0,05$).

Tabela 2.5 - Análise de interação e teste de médias para taxa de produção de gases (μ) em %/hora, comparativo entre inóculos e substratos

Tratamento	μ (%/h)			CV	EPM	Valor de P
	LRB	CSF	CSC			
BAS	0,041 a	0,039 a	0,040 ab	12,9885	0,0052	0,8955
M10	0,036 B a	0,036 B a	0,044 A a	5,6287	0,0022	0,0008
M20	0,043 A a	0,034 B ab	0,038 AB b	6,8524	0,0026	0,0034
TF	0,018 B b	0,028 A b	0,021 B c	12,8042	0,0028	0,0024
CV	12,5649	8,6885	7,7122			
EPM	0,0043	0,0030	0,0027			
Valor de P	<0,0001	0,0013	<0,0001			

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha ou letras minúsculas diferentes na coluna, em cada intervalo, diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$). LRB = Líquido ruminal bovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, BAS = 100% de dieta basal, M10 = 90% de dieta basal + 10% de *Acrocomia aculeata*, M20 = 80% de dieta basal + 20% de *Acrocomia aculeata* e TF = feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*). CV = coeficiente de variação, EPM = erro padrão médio.

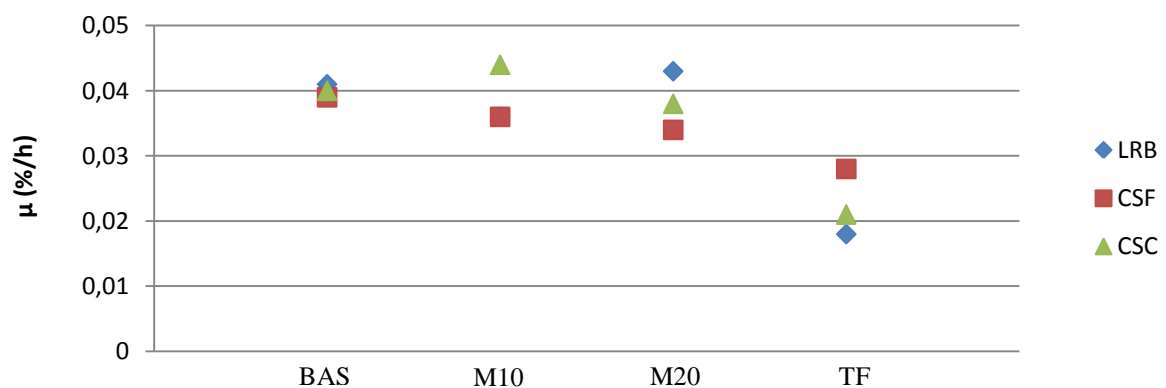


Figura 2.10 - Gráfico de interação do para taxa de produção de gases (μ), comparativo entre inóculos e substratos. LRB = Líquido ruminal bovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, BAS = 100% de dieta basal, M10 = 90% de dieta basal + 10% de *Acrocomia aculeata*, M20 = 80% de dieta basal + 20% de *Acrocomia aculeata* e TF = feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*).

Comparando substratos por inóculo (Tabela 2.5) o feno de Tifton apresentou a menor taxa de produção de gases para os inóculos estudados ($P<0,05$), assim como comentado anteriormente, a causa desse resultado provavelmente é pela baixa qualidade do

feno utilizado (VELÁSQUEZ et al., 2009). Para os inóculos LRB e CSF, os substratos BAS, M10 e M20 não apresentaram diferença ($P>0,05$). Quando o inóculo foi CSC o substrato M10 foi o que apresentou maior taxa de produção de gás, porém não foi diferente da dieta basal. A M20 também não diferiu da dieta Basal, mas apresentou taxa de produção de gás inferior a M10 ($P<0,05$).

5.2. Degradabilidade da matéria seca

Os resultados de degradabilidade em 24 horas representados na Tabela 2.6, mostram diferenças entre os inóculos para o substrato TF, tendo LRB a maior degradabilidade (39,71%), seguido por CSF (36,22%) e CSC com a menor degradabilidade dentre os três inóculos (34,84%). A Figura 2.11 ilustra a pouca diferença de degradabilidade dos inóculos em M10, onde CSC apresentou a maior degradabilidade (73,20%), LRO a menor (70,38%) e CSF semelhante aos outros (72,39%).

Tabela 2.6 - Degradabilidade *in vitro* da matéria seca (%) de amostras coletadas 24 horas após inoculação

Inóculos	Degradabilidade (%) 24h				CV	EPM	Valor de P
	Substratos						
	BAS	M10	M20	TF			
LRB	73,75 A	70,38 B b	67,70 B	39,71 C a	1,7810	1,1200	<0,0001
CSF	73,34 A	72,39 A ab	68,28 B	36,22 C b	1,6283	1,0186	<0,0001
CSC	75,69 A	73,20 A a	68,03 B	34,84 C c	2,2616	1,4234	<0,0001
CV	2,3205	1,4646	1,7488	1,3864			
EPM	1,7233	1,0543	1,1892	0,5119			
Valor de P	0,2769	0,0414	0,8369	<0,0001			

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha ou letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$). LRB = Líquido ruminal bovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, BAS = 100% de dieta basal, M10 = 90% de dieta basal + 10% de *Acrocomia aculeata*, M20 = 80% de dieta basal + 20% de *Acrocomia aculeata* e TF = feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*). CV = coeficiente de variação, EPM = erro padrão médio.

O nível de fibra e lignina dos substratos (Tabela 2.1) foi diretamente relacionado com a degradabilidade, quanto mais fibroso o substrato menor a degradabilidade. Tendo assim a dieta BAS e M10 a maior degradabilidade e TF a menor, para os inóculos CSF e CSC ($P<0,05$). No LRB o substrato BAS apresentou a maior e TF a menor degradabilidade ($P<0,05$), M10 e M20 não diferenciaram para esse inóculo, mas ambas diferenciam de BAS e TF (Tabela 2.6). Na Figura 2.11 ilustra a pouca diferença de degradabilidade entre os inóculos e dos substratos BAS, M10 e M20, pela aproximação dos pontos no gráfico.

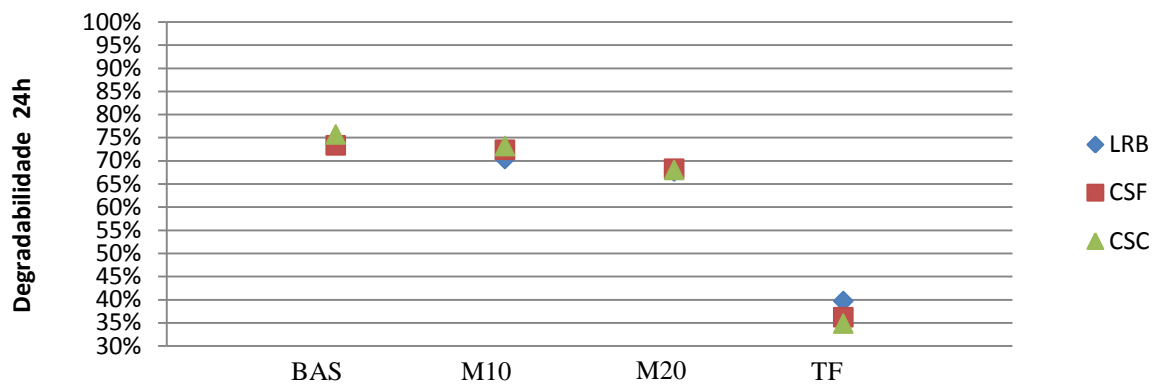


Figura 2.11 - Gráfico de interação de degradabilidade *in vitro* (%) de amostras coletadas 24 horas após inoculação. LRB = Líquido ruminal bovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, BAS = 100% de dieta basal, M10 = 90% de dieta basal + 10% de *Acrocomia aculeata*, M20 = 80% de dieta basal + 20% de *Acrocomia aculeata* e TF = feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*).

Após 96 horas de inoculação há um aumento na taxa de degradabilidade dos substratos, porém o substrato TF foi o único o qual houve diferença entre os inóculos, onde LRB apresentou maior degradabilidade, CSF e CSC não diferiram entre si (Tabela 2.7).

Tabela 2.7 - Degradabilidade *in vitro* da matéria seca (%) de amostras coletadas 96 horas após inoculação

Inóculos	Substratos				CV	EPM	Valor de P
	BAS	M10	M20	TF			
LRB	95,00 A	90,00 A	87,52 A	63,14 B a	3,9840	3,2380	<0,0001
CSF	92,59 A	88,66 AB	84,86 B	47,26 C b	2,8659	2,0999	<0,0001
CSC	93,30 A	88,27 B	83,59 C	45,10 D b	2,0259	1,5959	<0,0001
CV	1,7099	2,0228	4,5280	3,6917			
EPM	1,6018	1,7992	3,8661	1,9362			
Valor de P	0,4383	0,4952	0,4998	<0,0001			

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha ou letras minúsculas diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). LRB = Líquido ruminal bovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, BAS = 100% de dieta basal, M10 = 90% de dieta basal + 10% de *Acrocomia aculeata*, M20 = 80% de dieta basal + 20% de *Acrocomia aculeata* e TF = feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*). CV = coeficiente de variação, EPM = erro padrão médio.

O TF foi o substrato que apresentou a menor taxa de degradabilidade, tanto em 24h (Tabela 2.6) quanto em 96h de incubação (Tabela 2.7) para todos os inóculos, podendo provavelmente devido à maior porcentagem de lignina, onde a respectiva ligação covalente com os polissacarídeos da parede celular é o principal obstáculo ao ataque enzimático da fibra prejudicando a digestibilidade (ALLEN et al., 1997).

Para degradabilidade em 96h (Tabela 2.7) não houve diferença entre BAS, M10 e M20 para LRB ($P>0,05$). No inóculo CSF, BAS e M10 foram semelhantes e com maior degradabilidade, entretanto M20 não apresentou diferença com M10. Para CSC, o substrato BAS foi mais degradado, seguido por M10, M20 e TF.

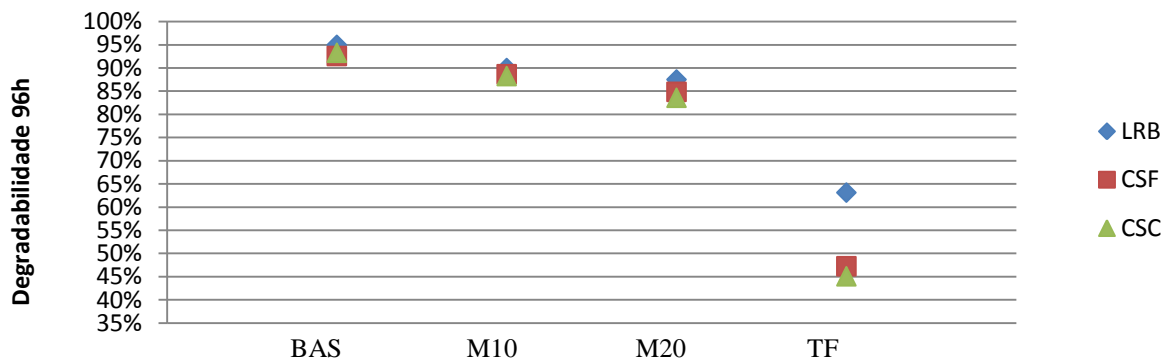


Figura 2.12 - Gráfico de interação de degradabilidade *in vitro* (%) de amostras coletadas 96 horas após inoculação. LRB = Líquido ruminal bovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, BAS = 100% de dieta basal, M10 = 90% de dieta basal + 10% de *Acrocomia aculeata*, M20 = 80% de dieta basal + 20% de *Acrocomia aculeata* e TF = feno de Tifton 85 (*Cynodon spp.*).

6. CONCLUSÃO

O método de produção de gases e o modelo matemático usados no estudo se mostraram coerentes quanto aos resultados produzidos, mostrando que é possível usar a metodologia de produção de gases utilizada para ruminante também para inóculo de ceco de suínos, podendo adaptar no método o tempo de passagem do alimento pelo sistema digestivo do suíno.

A inclusão de 10 e 20% de torta da amêndoa da macaúba na dieta basal, provocou a diminuição da capacidade fermentativa e da degradabilidade das dietas, indicando qualidade inferior a dieta referência, basal.

Os inóculos estudados apresentaram proximidades em relação a produção de gases e degradabilidade da matéria seca, principalmente entre líquido ruminal bovino e ceco de suíno criado ao ar livre, mostrando semelhança entre esses inóculos. Portanto indica que a inclusão de fibra na dieta de suínos pode trazer maior produção de gases a esses animais. Porém ainda se faz necessários maiores e mais específicos estudos, principalmente caracterizando os gases produzidos, para comprovação dos benefícios de incluir dietas mais fibrosas a animais monogástricos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, M.S. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.1447, 1997.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis**. 16.ed. Washington, D.C.: AOAC, 1995. 2000p.
- BLUMMEL, M.; MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K. *In vitro* gas production: a technique revisited. **Jornal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.77, p.24-34, 1996.
- BEUVINK, J.M.W.; SPOELSTRA, S.F. Interactions between substrate, fermentation end-products, buffering systems and gas production upon fermentation of different carbohydrates by mixed rumen microorganisms *in vitro*. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 37, p. 505-509, 1992.
- BROUNS, F.; EDWARDS, S. A.; ENGLISH, P. R. Effect of dietary fibre and feeding system on activity and behaviour of housed gilts. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 39, p. 215-223, 1994.
- CICONINI, G. **Caracterização de frutos e óleos de polpa de macaúba dos biomas cerrado e pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil**. 2012, p. 21-28. Dissertação de Mestrado – Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2011.
- FARIAS, L.N.; VASCONCELOS, V.R.; CARVALHO, F.F.R.; SARMENTO, J.L.R. Avaliação dos modelos logístico bicompartimental e de Gompertz na estimativa da dinâmica de fermentação ruminal *in vitro* do farelo e da torta de babaçu (*Orbigya martiana*). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.63, n.1, p.136-142, 2011.
- FRANCE, J.; DHANOA, M.S.; THEODOROU, M.K.; LISTER, S.J.; DAVIS, D.R.; ISAC, D. A model to interpret gas accumulation profiles associated with *in vitro* degradation of ruminant feeds. **Journal Theoretical of Biology**, v.163, p.99-111, 1993.
- GERON, L.J.V. Utilização de resíduos agroindustriais na alimentação de animais de produção. **Pubvet**, v.1, n.9, ed. 9, Art. 312, 2007. Disponível em: <http://www.pubvet.com.br/artigos_det.asp?artigo=312> Acesso em: 05 fev. 2015.

- GUIMARÃES JÚNIOR, R.; CABRAL FILHO, S.L.S; FERNANDES, F.D.; VILELA, F.D.; MARTHA JÚNIOR, G.B. Relação entre pressão e volume para implantação da técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases na Embrapa Cerrados. **Comunicado Técnico Embrapa Cerrados**, 2008.
- JENSEN B.B.; JORGENSEN H. Effect of dietary fiber on microbial activity and microbial gas production in various regions of the gastrointestinal tract of pigs. **Applied and Environmental Microbiology**. v.60, n.6, p. 1897-1904, 1994.
- MAURICIO, R.M.; MOULD, F.L.; DHANOA, M.S. OWEN, E.; CHANNA, K.S.; THEODOROU, M.K. A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. **Animal Feed Science and Technology**, v.79, p.321-330, 1999.
- MAURÍCIO, R.M.; PEREIRA, L.G.R.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUEZ, N.M.; MARTINS, R.G.R.; RODRIGUES, J.A.S. Potencial da Técnica *in vitro* Semi-Automática de Produção de Gases para Avaliação de Silagens de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 4, p. 1013-1020, 2003.
- MOREIRA, J. M. M. A. P.; SOUSA, T. C. R. Macaúba: oportunidades e desafios. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**. 2009 Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/noticias/artigosmidia/publicados/163/>>. Acesso em: 07 fev. 2015.
- NRC. **Nutrient requirements of swine**. 10 ed. Washington: National Academy, 189p. 1998.
- RAMONET, Y.; MEUNIER-SALAÜN, M.C.; DOURMAD, J.Y. High-fiber diets in pregnant sows: digestive utilization and effects on the behavior of the animals. **Journal of Animal Science**, v. 77, p. 591-599, 1999.
- RIBAS, R.G.; MOYLE, C.Y.; MIYAKI, E.J.L. The assembly of montane biotas: linking Andean tectonics and climatic oscillations to independent regimes of diversification in Pionus parrots. **Biological Sciences**, v.274, n.1624, p.2399-2408, 2007.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T. **Composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos (Tabelas Brasileiras)**. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 186p. 2005.
- THEODOROU, M.K.; WILLIAMS, B.A.; DHANOA, M.S.; MCALLAN, A.B.; FRANCE, J. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminants feeds. **Animal Technology Feed Science**, v.48, p.185-197, 1994.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.
- VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. Fermentação ruminal. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de ruminantes**, 2ed. Jaboticabal, Editora FUNEP, 2011. p. 161-234.

- VELÁSQUEZ, P.A.T.; BERCHIELLI, T.T.; REIS, R.A.; RIVERAA.R.; DIAN, P.H.M.; TEXEIRA, I.A.M.A. Cinética da fermentação e taxas de degradação de forrageiras tropicais em diferentes idades de corte estimadas pela técnica de produção de gases *in vitro*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.9, p.1695-1705, 2009.
- ZANOTTO, D.L.; GUIDONI, A.L.; LIMA, G.J.M.M. Efeitos da granulometria do milho sobre a digestibilidade das dietas para suínos em crescimento e terminação. **Comunicado Técnico EMBRAPA Suínos e Aves**, p.1-2, 1998.

CAPITULO 3

1. RESUMO

POTENCIAL FERMENTATIVO DO INÓCULO DE CECO DE SUÍNOS EM CRESCIMENTO UTILIZANDO TORTAS DA AMÊNDOA E POLPA DA MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*)

ALUNO: Carlos Augusto da Silva Junior ¹

ORIENTADOR: Dr. Rodrigo Diana Navarro¹

¹Universidade de Brasília – UnB

²Universidade de Brasília – UnB

O presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial fermentativo e degradabilidade da matéria seca (DMS) de coprodutos da macaúba (*Acrocomia aculeata*), utilizando três tipos de inóculo: ceco de suínos criados ao ar livre (CSF), ceco de suínos criados confinados (CSC) e líquido ruminal de ovino (LRO), através da técnica de produção de gases *in vitro*. Os substratos utilizados no ensaio de gases foram a torta da amêndoa (TAM) e da polpa da *Acrocomia aculeata* (TPM), sendo as tortas produtos residuais obtidos a partir da extração do óleo da macaúba, casca de mandioca (CM) e silagem de milho liofilizada (SIL). Todos os substratos foram submetidos previamente ao processo de moagem. A produção de gases foi avaliada nos tempos de 0, 3, 6, 9, 12, 16, 24, 48, 72 e 96 horas após a incubação, analisando potencial máximo de produção de gás (A), tempo de colonização (L) e taxa de produção de gás (μ). O modelo matemático usado foi o de France et al. (1993). A DMS foi avaliada em 24 e 96 horas. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial 4 x 3. Os dados de A, L, μ e DMS foram submetidos à análise de variância e as

médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%. Verificou-se pela análise de variância que houve diferença significativa para todos os parâmetros testados, exceto para tempo de colonização (L), não havendo interação entre inóculo x substrato. A DMS em 24h por inóculo apenas apresentou diferença quando os substratos foram TPM e CM. Em TPM o CSC foi o inóculo que apresentou maior e CSF a menor taxa de DMS, não houve diferença desses inóculos para LRO. Para CM o inóculo LRO apresentou a menor degradabilidade e CSC a maior, e não foi identificada diferença entre esses inóculos e CSF. O substrato CM apresentou a maior taxa de DMS em 24h e 96h em todos os inóculos estudados, seguido de SIL, TAM e TPM que apresentaram as menores taxas de degradabilidade respectivamente. Avaliando parâmetro A (ml/gMS) por inóculo, não houve diferença entre os inóculos para o substrato TPM. O inóculo CSC apresentou maiores resultados de A para os substratos TAM e CM, onde em TAM o CSF não diferiu de LRO e em CM o inóculo LRO apresentou o menor valor para A. Na Comparação entre os substratos, o CM apresentou melhores resultados para todos os três inóculos quando analisado potencial máximo de produção de gás. A torta da amêndoa e da polpa da macaúba apresentaram os resultados de A mais baixos dentre os quatro substratos testados. As tortas da amêndoa e polpa da macaúba não apresentaram resultados satisfatórios de produção de gases e degradabilidade da matéria seca. Entretanto a casca de mandioca obteve excelentes níveis de produção de gases. O ceco de suíno confinado e de suíno criado ao ar livre apresentaram capacidade fermentativa similar e ou superior ao líquido ruminal de ovino, mostrando boa capacidade fermentativa do ceco suíno quando utilizado substratos mais fibrosos.

Palavras-chave: alimentos alternativos, fibra dietética, produção de gases *in vitro*

2. ABSTRACT

POTENTIAL FERMENTATION OF INOCULUM FROM GROWING SWINE CECA USING MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*) NUT MEAL AND PULP MEAL

STUDENT: Carlos Augusto da Silva Junior ¹

TUTOR: PhD. Rodrigo Diana Navarro ²

¹University of Brasília – UnB

²University of Brasília – UnB

This study aimed to evaluate the fermentation potential and degradability of dry matter (DMD) of the macaúba (*Acrocomia aculeata*) coproducts, using three types of inoculum: pig cecum raised in a free range system (CSF), swine ceca raised in a conventional confined system (CSC) and sheep rumen fluid (LRO), through the *in vitro* gas production technique. The substrates used in the gases test were meal almond and pulp *Acrocomia aculeata* (TPM), being the meal waste products obtained from the macaúba oil extraction, Cassava peels and freeze-dried corn silage (SIL). All substrates were previously subjected to the grinding process. Gas production was evaluated at times 0, 3, 6, 9, 12, 16, 24, 48, 72 and 96 hours after incubation, analyzing maximum potential gas production (A) lag time (L) and gas production rate (μ). DMD was assessed at 24 and 96 hours. The experimental design was completely randomized in a factorial arrangement 4 x 3. The data A, L, μ and DMD were subjected to analysis of variance and means compared by Tukey's 5% test. It was found to analysis of variance a significant difference for all parameters tested, except for colonization time in hours (L), with no interaction between inoculum x substrate. The DMD for 24 hours a inoculum was different only when the substrates were TPM and CM. TPM in the CSC was the inoculum with the highest and the lowest CSF DMD rate, there was no difference of these

inoculants for LRO. CM for the LRO inoculum had the lowest degradability CSC and the largest, and has not been identified difference between the inoculum and CSF. The CM substrate showed the highest rate in DMD 24h and 96h in all studied inoculum, followed by SIL, TAM and TPM that had the lowest degradability rates respectively. Evaluating parameter A (ml / gDM) by inoculation, there was no difference between the inoculum to the TPM substrate. The CSC inoculum presented higher values of A for TAM and CM substrates where TAM in the CSF did not differ from LRO and CM LRO inoculum showed the lowest value for A. In comparison between the substrates, the CM showed better results for all the three inocula when analyzed the maximum potential of gas production. The almond meal and macaúba pulp presented the results of the lowest among the four tested substrates, and for CSC and LRO macaúba meal pulp had the lowest results and two meals did not differ between them for CSF. Meals almond and pulp macaúba did not show satisfactory results of gas production and degradability of the dry matter. However cassava peel got excellent gas production levels. The confined swine ceca and swine created outdoors showed similar fermentation capacity and or exceeds the rumen fluid of sheep, showing good fermentative capacity of the swine ceca when used more fibrous substrates.

Keywords: alternative feed, dietary fiber, in vitro gas production

3. INTRODUÇÃO

No Brasil existe uma grande produção de coprodutos agrícolas fibrosos, como os farelos de grãos e, por esta razão o fornecimento de fibra na alimentação animal tem sido estimulado e novas fontes de alimentos alternativos estão sendo procuradas (CICONINI, 2012).

Os resíduos provenientes da cadeia produtiva do biodiesel são subprodutos da agroindústria ricos em fibra dietética e podem ser utilizados como ingredientes alimentares alternativos para os suínos (GERON, 2007). A Macaúba (*Acrocomia aculeata*), assim como resíduo do biodiesel pode ser uma boa opção para introdução na dieta suína, devido a sua produtividade, que pode ultrapassar de 30 toneladas/ha, além de ser rústica e bem adaptada às condições do Cerrado é resistente à seca (MOREIRA & SOUSA, 2009).

Segundo Brouns et al. (1994) e Ramonet et al. (1999) a fibra dietética vem sendo utilizada como fonte de energia para os monogástricos, em especial para suínos destinados ao abate, machos reprodutores, marrãs e fêmeas em gestação.

Os componentes dietéticos da fibra são minimamente digeridos no intestino delgado de suínos, porém providenciam substrato para a fermentação microbiana no intestino grosso, sendo os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) os principais produtos desta fermentação (NRC, 1998).

As técnicas *in vitro* de produção de gases são capazes de simular o ambiente microbiano e a digestão enzimática (THEODOROU et al., 1994) e baseiam-se na estimativa do volume de gases produzidos por meio da leitura direta com seringas graduadas ou por conversão de volume a partir de dados de pressão (MAURÍCIO et al., 2003).

A técnica de produção de gases desenvolvida por Theodorou et al. (1994) caracteriza-se pela leitura manual do volume de gases produzidos através de uma seringa plástica graduada. Maurício et al. (1999), adaptaram a metodologia desenvolvida por

Theodorou et al. (1994), ao substituírem o uso de seringas para realização das leituras de volume de gás produzido por instrumentos que permitiam a captura direta de dados, o que levou a redução do tempo despendido durante as leituras, além de reduzir o erro potencial associado as mensurações.

Quando obtido o perfil de produção de gases, dispõem-se diversos modelos matemáticos para descrevê-los. Um dos modelos matemáticos mais utilizados é o de France et al. (1993). A descrição matemática das curvas de produção de gases permite a análise dos dados, a comparação dos substratos e a evolução de diferentes ambientes de fermentação, proporcionando informações sobre a composição do substrato estudado e das taxas de fermentação dos constituintes solúveis e estruturais dos substratos (FARIAS et al., 2011).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial fermentativo de coprodutos da macaúba na produção cumulativa de gases e degradabilidade *in vitro* da matéria seca, utilizando inóculo de ceco de suínos criados ao ar livre, ceco de suínos criados confinados e líquido ruminal de ovinos, validando o uso da metodologia de produção de gases *in vitro* usada para ruminantes em suínos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio de gases foi realizado no Laboratório de Nutrição Animal (LNA), da Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília (UnB), localizada no Núcleo Rural Vargem Bonita, Brasília, Distrito Federal (DF) a 15° 47' de latitude sul e 47° 56' de longitude oeste e altitude média de 1080 m.

Os inóculos utilizados no estudo para a fermentação e análise de produção de gases foram líquido ruminal de ovino fistulado (LRO), líquido extraído de ceco de suínos abatidos e criados em sistema convencional confinado (CSC) e líquido extraído de ceco de suínos abatidos e criados em sistema ao ar livre (CSF).

Os substratos utilizados no ensaio de gases foram a torta da amêndoa (TAM) (Figura 3.1A) e da polpa da *Acrocomia aculeata* (TPM) (Figura 3.1B), sendo as tortas produtos residuais obtidos a partir da extração do óleo da macaúba (CONCEIÇÃO et al., 2005), casca de mandioca (CM) (Figura 3.1C) e silagem de milho liofilizada (SIL) (Figura 3.1D). Todos os substratos foram submetidos previamente ao processo de moagem. As amostras TAM e TPM foram moídas no moinho Tecnal, modelo TE-631 e as amostras CM e SIL foram moídas no moinho ciclone, modelo 050M001, para uso no experimento.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial 4 x 3, com os fatores representados pelos substratos (TAM, TPM, CM e SIL) e inóculos (CSF, CSC e LRO). Os dados referentes à potencial máximo de produção de gases (A), tempo de colonização em horas (L), taxa de produção de gases (μ), degradabilidade da matéria seca, obtidos em diferentes intervalos de tempo, foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando o programa (SAS, 2000).

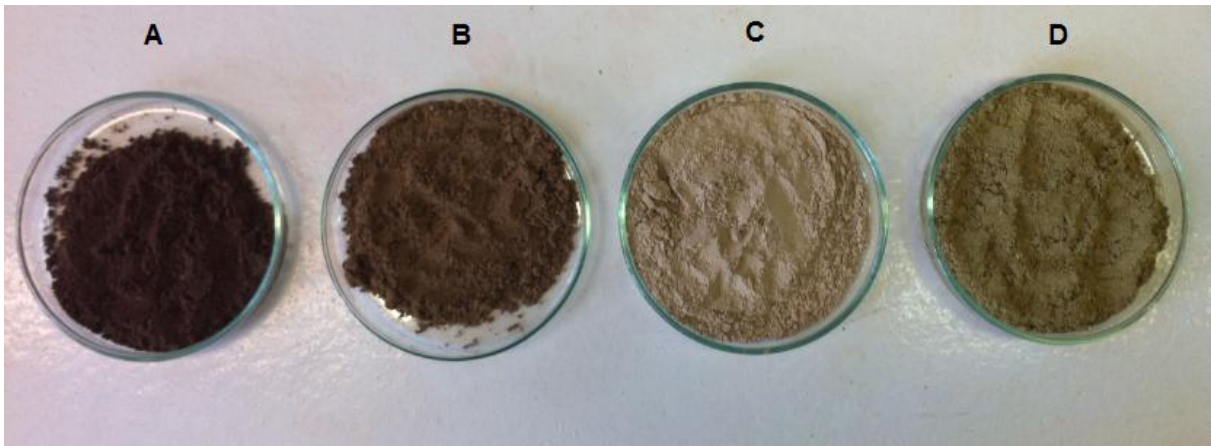


Figura 3.1 - Substratos submetidos ao processo de moagem - (A) Torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata* (TAM); (B) Torta da polpa da *Acrocomia aculeata* (TPM); (C) Casca de mandioca (CM); (D) Silagem de milho liofilizada (SIL).
Fonte - Arquivo Pessoal.

Foram utilizados para coleta de ceco, doze suínos criados em sistema ao ar livre da Fazenda Água Limpa (UnB), em piquetes com pastagem nativa e alimentados com dieta concentrada e balanceada, e com idade média de 94 dias com peso médio de 37,35kg e doze suínos criados em sistema convencional confinado em cama sobreposta, alimentados com dieta concentrada e balanceada, e com idade média de 150 dias com peso médio de 105 kg. O líquido ruminal foi colhida de um ovino adulto, fistulado, mantido em pastagem de Tifton 85 (*Cynodon spp.*) e alimentados pela noite com Capim-elefante (*Pennisetum purpureum schum*) triturado com concentrado a base de milho e soja (300g).

Os cecos dos suínos foram coletados em abatedouro comercial. O abate de cada suíno foi monitorado até a retirada do trato digestório dos animais, quando foi realizada a identificação e secção dos cecos. Para evitar o extravazamento do conteúdo as extremidades de cada ceco foram amarradas com barbante de algodão e estes acondicionados em sacos plásticos identificados. O trato digestório de cada animal foi extraído sem contato com água fria evitando-se a queda de temperatura interior e a morte dos micro-organismos dos cecos. Após a retirada, os cecos foram armazenados em caixas térmicas com bolsas de água aquecida, mantendo a temperatura interior da caixa por volta de 39°C e separados de acordo com o seu sistema de criação e posteriormente transportados até o Laboratório de Nutrição Animal (LNA).

O conteúdo ruminal foi coletado no final do período da manhã, transferido para uma garrafa térmica e levado imediatamente ao LNA, chegando simultaneamente com os cecos coletados no abatedouro.

O ensaio *in vitro* de produção de gases foi realizado de acordo com Theodorou et al. (1994) com adaptações de Mauricio et al (1999). O ensaio iniciou-se dia 06 de novembro e sendo encerrado dia 10 de novembro de 2014.

No LNA o líquido dos cecos foi extraído, através de uma incisão na curvatura maior dos cecos feita com uma tesoura cirúrgica e armazenado em beakers de 2 litros. O conteúdo extraído foi mantido separado de acordo com o sistema de criação dos animais. Cada material foi homogeneizado e filtrado em duas camadas de tecido de algodão, sendo mantidos em diferentes balões de Erlenmeyer em banho-maria a 39 °C sob saturação de CO₂.

Amostras de 0,5 g dos substratos a serem avaliados foram pesadas e lacradas em sacos F57 ANKOM[®] identificados anteriormente. Para a fermentação das amostras utilizou-se frascos de vidro com volume aferido de 160 mL, previamente lavados com água destilada e secos em estufa. Aos frascos, previamente identificados, foram adicionados os sacos contendo 0,5g dos substratos a serem avaliados conforme Beuvink & Spoelstra (1992), juntamente com 90 mL de meio de cultura tamponante (THEODOROU et al., 1994) e 10 mL do inóculo correspondente, sendo vedados com rolhas de borracha e lacres metálicos. Após rápida agitação manual, a fim de homogeneizar o conteúdo, os frascos foram dispostos aleatoriamente em estufa com circulação forçada de ar a 39°C, sendo este considerado o tempo zero.

Foram incubados 108 frascos, 24 destes contendo apenas o inóculo e o meio de cultura tamponante foram considerados como controle (brancos), utilizados para determinar a produção de gases proveniente dos conteúdos ruminal e cecal para posterior correção da produção líquida de gases. Em 36 frascos com 3 repetições de cada tratamento (TAM, TPM, CM e SIL) por inóculo (RLB, CSF e CSC), Foram usados para avaliação até 24 horas pós-incubação e foram retirados e determinada a degradabilidade da matéria seca. Nos 48 frascos restantes com 4 repetições de cada tratamento por inóculo, foram feitas medições até 96 horas pós-incubação.

As leituras de pressão (psi) para determinação da produção de gases foram realizadas com 3, 6, 9, 12, 16, 24, 36, 48, 72 e 96 horas após a incubação, por meio de um transdutor de pressão modelo *Press Data*, conectado a uma válvula de três saídas, sendo uma saída ligada ao transdutor, outra a uma agulha 25 mm x 0,7 mm e a terceira livre para remoção do gás após a leitura.

Os dados de pressão obtidos em PSI foram transformados em volume de gás produzido por meio da equação descrita por Guimarães Júnior et al. (2008), para as condições

de temperatura e pressão atmosférica de Brasília, DF : Volume (mL) = 4,50231 x pressão (PSI) + 0,05164 x pressão² (R² = 0,996).

A cinética de produção de gases em cada tratamento foi determinada segundo o modelo descrito por France et al. (1993). Utilizando-se a ferramenta Solver presente no software Microsoft Excel 2010:

$$Y = A \{1 - \exp[-b(t-L) - c \times (\sqrt{t} - \sqrt{L})]\}, \text{ em que,}$$

Y = produção cumulativa de gases (mL);

A = potencial máximo de produção de gases (mL);

L = tempo de colonização ou lag time (h);

b (h⁻¹) e c (h^{-0,5}) = taxas fracionais constantes; e

t = tempo (h).

A taxa fracional média (h⁻¹) de produção de gases (μ) foi calculada como:

$$\mu = b + \frac{c}{2\sqrt{t}}, \text{ em que:}$$

μ_{48} = taxa de produção de gases após 48h (h⁻¹);

Após a leitura e coleta de gás, nos tempos 24 e 96 horas pós-incubação, removeu-se de cada frasco o saco contendo o resíduo da amostra não degradada, sendo este submetido a uma série de lavagens com água destilada, seguida por lavagem com acetona e enxágue, para remoção da massa microbiana. Em seguida os sacos contendo os respectivos resíduos sólidos foram levados à estufa a uma temperatura de 105°C por 48 horas. A degradabilidade da matéria seca (DMS), nos diferentes períodos, foi obtida pela diferença de peso entre a matéria seca da amostra antes e após a incubação.

Os substratos TAM, TPM, CM e SIL utilizados no ensaio de produção de gases, foram submetidos a análise de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), lignina, fibra bruta (FB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e carboidratos não-fibrosos (CNF). As amostras foram analisadas de acordo com a metodologia de AOAC (1995) para CNF, FDA, FB, EE, PB, MM, MS e lignina, para FDN a metodologia foi a de Van Soest et al. (1991). Os resultados obtidos das análises estão expostos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Análise Bromatológica dos substratos testados no ensaio de gases

Parâmetro (% na MS)	Substratos			
	CM	SIL	TAM	TPM
Matéria seca (MS)	94,45	87,06	94,44	95,59
Proteína bruta (PB)	5,48	9,10	17,79	8,28
Extrato etéreo (EE)	1,87	2,01	11,98	5,79
Matéria mineral (MM)	3,07	3,35	5,35	4,56
Lignina em detergente ácido (LDA)	2,96	6,84	15,87	21,62
Fibra bruta (FB)	5,41	23,98	41,44	52,01
Fibra em detergente neutro (FDN)	46,08	69,37	60,65	65,82
Fibra em detergente ácido (FDA)	9,37	29,41	45,18	52,27
Carboidratos não-fibrosos (CNF)	43,50	16,17	4,23	15,55

TAM = Torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata*, TPM = Torta da polpa da *Acrocomia aculeata*, CM = Casca de mandioca e SIL = Silagem de milho liofilizada.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Produção de Gases

A análise de variância dos inóculos e substratos estudados são apresentados na tabela 3.2, verifica-se que houve interação significativa para todas as variáveis independentes estudadas, exceto, para tempo de colonização em horas (L).

Tabela 3.2 - Resultados da análise de variância das variáveis inóculos e substratos estudados para potencial máximo de produção de gases (A), tempo de colonização em horas (L) e taxa de produção de gases (μ)

Inóculos (Inoc)	A (mL/g MS)	L (h)	μ (%/h)
LRO	221,44 b	1,735 b	0,040 b
CSF	207,26 b	3,334 a	0,051 a
CSC	260,98 a	2,441 ab	0,046 ab
Substratos (Subs)	A (mL/g MS)	L (h)	μ (%/h)
TAM	130,13 c	0,873 b	0,028 c
TPM	86,70 d	2,225 b	0,045 b
CM	470,84 a	4,259 a	0,061 a
SIL	231,90 b	2,060 b	0,049 b
CV	8,9317	45,7047	22,6867
EPM	20,5330	1,1371	0,0104
	Valor de P	Valor de P	Valor de P
Inoc	<0,0001	0,0129	0,0149
Subs	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Inoc*Subs	<0,0001	NS	<0,0001

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna, em cada intervalo, diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). LRO = Líquido ruminal ovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, TAM = Torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata*, TPM = Torta da polpa da *Acrocomia aculeata*, CM = Casca de mandioca e SIL = Silagem de milho liofilizada. CV = coeficiente de variação, EPM = erro padrão médio.

O tempo de colonização (L) representa o tempo compreendido entre o início da incubação até a ação microbiana sobre o substrato avaliado, assim quanto menor tempo de colonização, mais rápida o início da degradação do alimento e produção de gases (RIBAS et

al., 2007). Na comparação tempo de colonização por inóculo (Tabela 3.2), O inóculo CSF apresentou o maior tempo de colonização, o LRO o mais rápido e CSC não diferiu de ambos. Quando comparado os substratos, o CM apresentou o maior tempo de colonização em relação aos outros três inóculos, os quais não se diferenciaram entre si. A velocidade da colonização depende da composição da partícula, do tamanho (superfície de contato) e da afinidade do microrganismo pelo alimento (VALADARES FILHO & PINA 2011).

Como demonstrado na Tabela 3.3, o inóculo CSC demonstrou maior potencial máximo de produção de gases (A) quando usados os substratos TAM e CM ($P < 0,05$), o que não era esperado, pois os animais que forneceram o inóculo CSC eram animais criados com dieta comercial, pouco fibrosa. Os inóculos CSF e LRO não diferiram para TAM. Quando o substrato foi CM o líquido ruminal de ovino apresentou resultado inferior aos inóculos CSF e CSC ($P < 0,05$). Porém, quando o substrato foi SIL, o LRO apresentou resultado superior e CSC e CSF não diferiram entre si para esse alimento ($P < 0,05$). Para TPM não foram identificadas diferenças entre os três inóculos ($P > 0,05$).

Tabela 3.3 - Análise de interação e teste de médias potencial máximo de produção de gases (A) em mL/gMS, comparativo entre inóculos e substratos

Tratamento	A (mL/gMS)			CV	EPM	Valor de P
	LRO	CSF	CSC			
TAM	114,85 B c	92,86 B c	182,67 A b	22,1308	28,7989	0,0043
TPM	85,33 d	77,46 c	97,31 c	12,0434	10,4419	0,0684
CM	415,40 C a	461,02 B a	536,10 A a	3,9398	18,5502	<0,0001
SIL	270,17 A b	197,70 B b	227,82 B b	8,6672	20,0992	0,0021
CV	5,1847	8,9882	10,7425			
EPM	11,4811	18,6293	28,0358			
Valor de P	<0,0001	<0,0001	<0,0001			

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha ou letras minúsculas diferentes na coluna, em cada intervalo, diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). LRO = Líquido ruminal ovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, TAM = Torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata*, TPM = Torta da polpa da *Acrocomia aculeata*, CM = Casca de mandioca e SIL = Silagem de milho liofilizada. CV = coeficiente de variação, EPM = erro padrão médio.

Na comparação entre os substratos (Tabela 3.3), o CM apresentou melhores resultados para todos os três inóculos quando analisado potencial máximo de produção de gás ($P < 0,05$), pode-se observar melhor na Figura 3.2 como CM se destaca em relação aos outros substratos. O que sugere que a quantidade de carboidrato contido na casca da mandioca testada associada à microbiota do rúmen e do ceco suínos, seja ele criado confinado ou ao ar livre, possuem uma grande capacidade fermentativa, pois a casca de mandioca utilizada é um resíduo com baixa quantidade de proteína e grande quantidade de fibra e se caracterizam

como fonte de energia, por conterem carboidratos de alta degradabilidade ruminal. (SILVEIRA et al. 2002). A silagem somente apresentou resultados inferiores a CM ($P < 0,05$), apenas em CSC a silagem foi semelhante a TAM. Segundo Nogueira et al., (2006) os gases oriundos da fermentação estão relacionados com a composição dos alimentos, ou seja, a maioria dos gases é liberada pela fermentação dos carboidratos, seguido por menor volume os gases liberados pelas proteínas e nenhuma quantidade liberada pelos lipídeos.

A torta da amêndoa e da polpa da macaúba apresentaram os resultados de A mais baixos dentre os quatro substratos testados, sendo que para CSC e LRO a torta da polpa da macaúba apresentou os resultados mais baixos e as duas tortas não diferenciaram entre si para CSF (Tabela 3.3). O baixo A de TAM e TPM pode estar relacionado com a alta quantidade de lignina na sua composição, pois de acordo com Allen et al. (1997) a lignina e a respectiva ligação covalente com os polissacarídeos da parede celular, é o principal obstáculo ao ataque enzimático da fibra, comprometendo a digestibilidade do alimento.

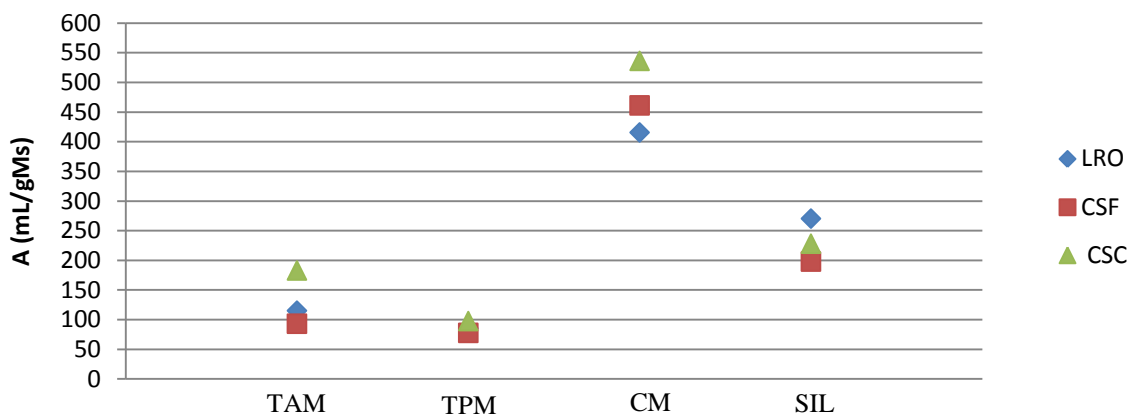


Figura 3.2 - Gráfico de interação do para potencial máximo de produção de gases (A) em mL/gMS, comparativo entre inóculos e substratos. LRO = Líquido ruminal ovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC= Ceco suíno criado confinado, TAM = Torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata*, TPM = Torta da polpa da *Acrocomia aculeata*, CM = Casca de mandioca e SIL = Silagem de milho liofilizada.

A diferença de produção de gás dos inóculos por substrato pode ser melhor visualizada na Figura 3.3, onde o gráfico expõe a curva de produção dos gases. O tempo de passagem do alimento pelo trato digestivo do suíno é em média 40 horas (ZANOTTO et al., 1998), com isso ao analisar a Figura 3.3 no tempo aproximado de 40 horas, a produção de gás dos três inóculos para os substratos mais fibrosos TAM, TPM e SIL são mais próximas.

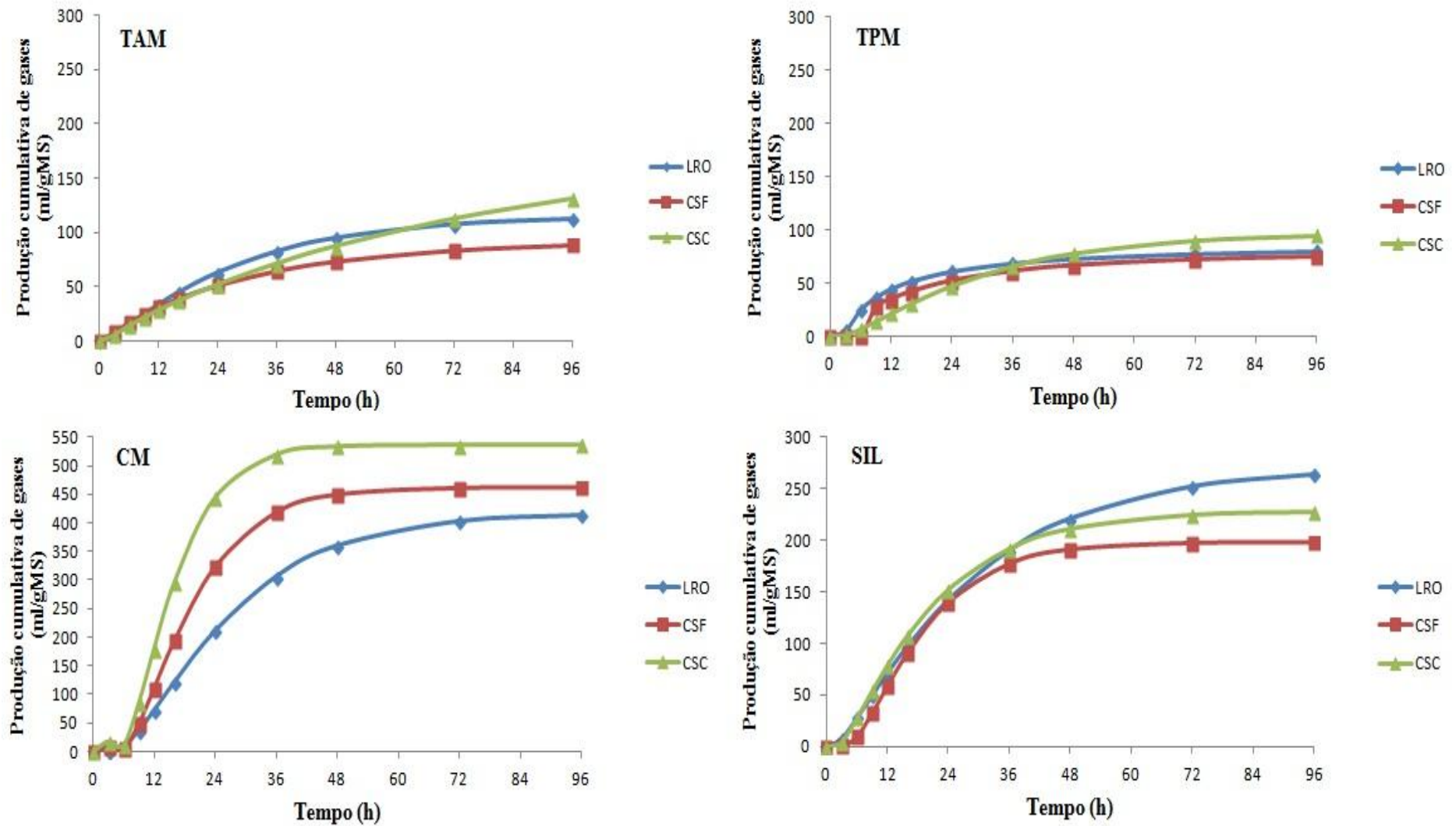


Figura 3.3 - Produção cumulativa de gases (mL/gMS) durante 96 horas de processo fermentativo dos substratos TAM = Torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata*, TPM = torta da polpa da *Acrocomia aculeata*, CM = Casca de mandioca e SIL = Silagem de milho liofilizada, entre os inóculos LRO = Líquido ruminal ovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, ajustada ao modelo de France *et al* (1993).

Na figura 3.4 pode-se notar como a casca de mandioca se destacou na produção de gás em relação aos outros substratos e a semelhança na produção entre as tortas de amêndoa e polpa da macaúba.

Observa-se na Tabela 3.4 que os inóculos LRO e CSF apresentaram as maiores taxas de produção de gases (μ) em relação ao inóculo CSC para o substrato TAM ($P < 0,05$). O inóculo CSC apresentou maior valor de μ , quando o substrato foi CM, seguido pelos menores valores de CSF e LRO ($P < 0,05$). Para SIL o inóculo CSF foi maior e CSC não diferiu de LRO e CSF. Não houve diferença entre os inóculos para o substrato TPM ($P > 0,05$). Na Figura 3.5 fica elucidada a diferença entre os inóculos para o substrato CM.

Tabela 3.4 - Análise de interação e teste de médias taxa de produção de gases (μ) em %/hora, comparativo entre inóculos e substratos

Tratamento	μ (%/h)			CV	EPM	Valor de P
	LRO	CSF	CSC			
TAM	0,036 A b	0,034 A b	0,014 B c	14,8536	0,0041	<0,0001
TPM	0,054 a	0,050 ab	0,032 bc	0,0321	0,0321	0,0322
CM	0,036 C b	0,061 B a	0,089 A a	10,4764	0,0064	<0,0001
SIL	0,035 B b	0,061 A a	0,053 AB b	18,4957	0,0091	0,0079
CV	16,1432	16,8632	31,02331			
EPM	0,0065	0,0087	0,01455			
Valor de P	0,0027	0,0024	<0,0001			

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha ou letras minúsculas diferentes na coluna, em cada intervalo, diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). LRO = Líquido ruminal ovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, TAM = Torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata*, TPM = Torta da polpa da *Acrocomia aculeata*, CM = Casca de mandioca e SIL = Silagem de milho liofilizada. CV = coeficiente de variação, EPM = erro padrão médio.

Em relação ao comparativo dos substratos (Tabela 3.4), foi observado que SIL e CM obtiveram resultados maiores para CSF ($P < 0,05$), em relação a TAM que foi a menor, não houve diferença desses substratos para TPM. No caso do CSC, os substratos TAM, CM e SIL apresentaram resultados de μ diferentes entre si ($P < 0,05$), entretanto o TAM e SIL não diferiram de TPM. Dentro do LRO, o substrato que apresentou a maior taxa de produção de gases foi TPM, enquanto os outros substratos não diferiram entre si.

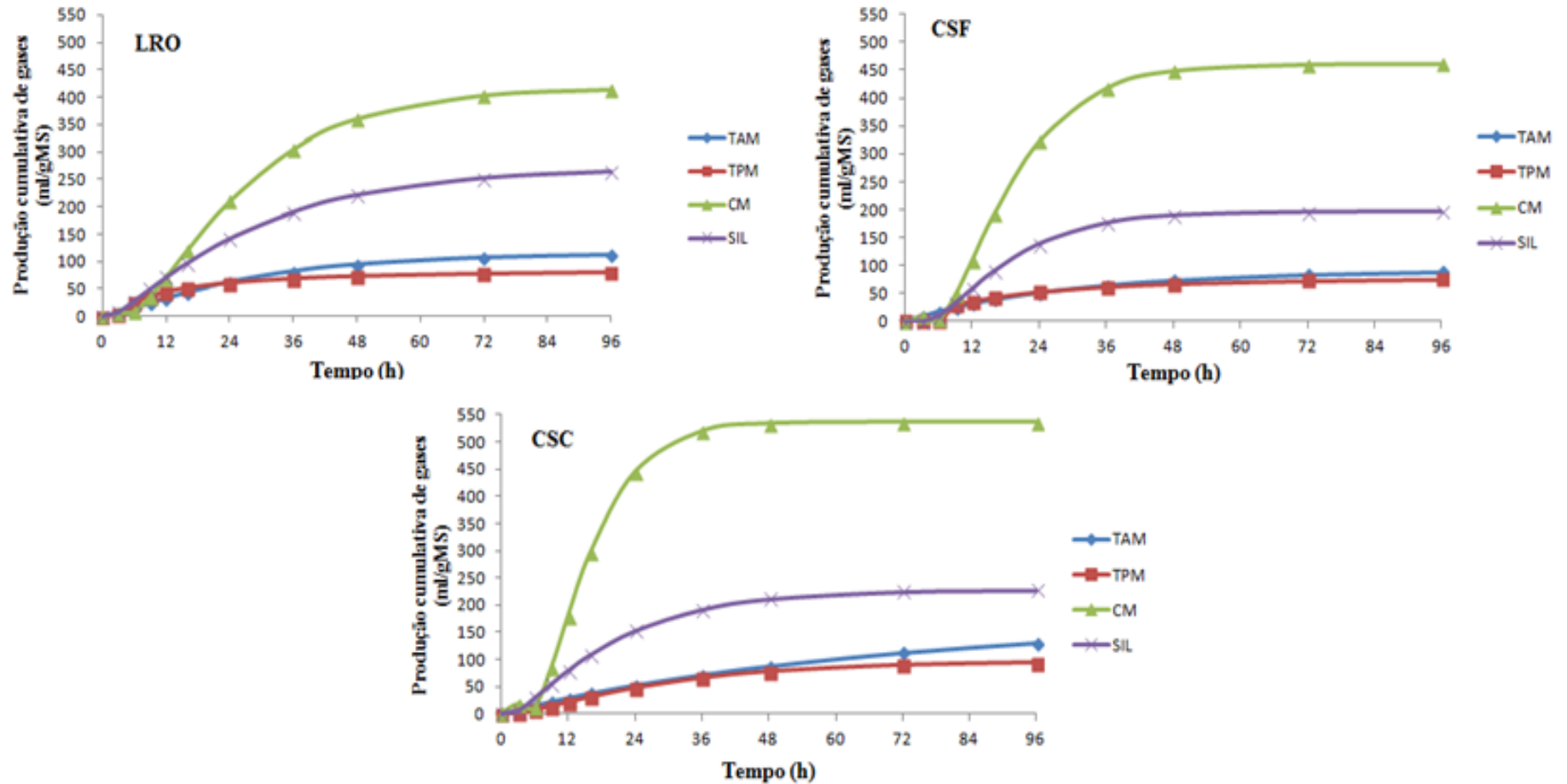


Figura 3.4 - Produção cumulativa de gases (mL/gMS) durante 96 horas de processo fermentativo dos inóculos LRO = Líquido ruminal ovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, entre os substratos TAM = Torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata*, TPM = Torta da polpa da *Acrocomia aculeata*, CM = Casca de mandioca e SIL = Silagem de milho liofilizada, ajustada ao modelo de France *et al* (1993).

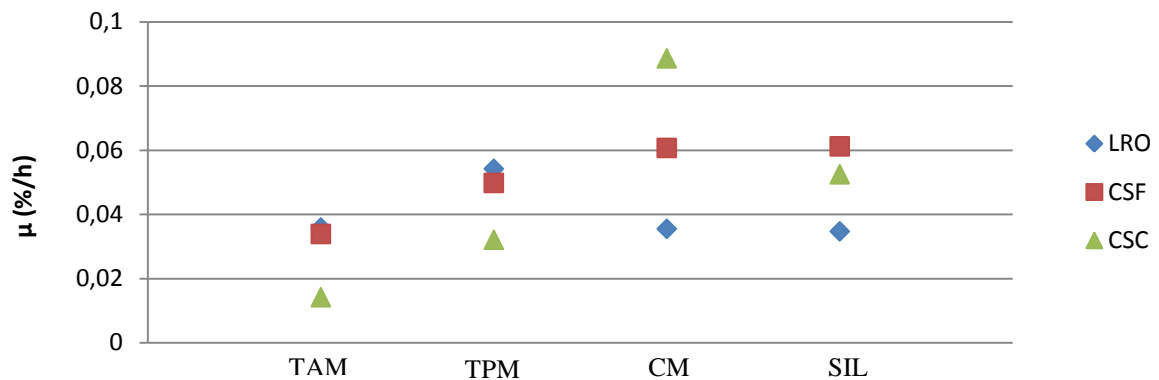


Figura 3.5 – Gráfico de interação do para taxa de produção de gases (μ), comparativo entre inóculos e substratos. LRO = Líquido ruminal ovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, TAM = Torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata*, TPM = Torta da polpa da *Acrocomia aculeata*, CM = Casca de mandioca e SIL = Silagem de milho liofilizada.

5.2. Degradabilidade da matéria seca

Na tabela 3.5 podem ser visualizados o efeito dos substratos com diferentes inóculos comportou-se de forma onde o CM apresentou melhor degradabilidade as 24 horas de inoculação seguidos de SIL e TAM e TPM, sendo que os dois últimos não diferiram entre si. Segundo Offner et al. (2003), a degradabilidade da silagem de milho é afetada pelo genótipo e maturidade da planta, sendo influenciada pelo teor de matéria seca da silagem.

Tabela 3.5 - Degradabilidade *in vitro* da matéria seca (%) de amostras coletadas 24 horas após inoculação

Inóculos	Degradabilidade (%) 24h				CV	EPM	Valor de P
	Substratos						
	TAM	TPM	CM	SIL			
LRO	33,55 C	29,65 C ab	65,31 A b	47,19 B	3,6417	1,5997	<0,0001
CSF	29,59 C	28,67 C b	72,38 A ab	46,65 B	6,3385	2,8093	<0,0001
CSC	29,13 C	30,70 C a	79,32 A a	44,32 B	3,3049	1,5159	<0,0001
CV	5,9206	2,4135	4,3748	3,8567			
EPM	1,8211	0,7161	3,1647	1,7762			
Valor de P	0,0465	0,0367	0,0049	0,1897			

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha ou letras minúsculas diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). LRO = Líquido ruminal ovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, TAM = Torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata*, TPM = Torta da polpa da *Acrocomia aculeata*, CM = Casca de mandioca e SIL = Silagem de milho liofilizada. CV = coeficiente de variação, EPM = erro padrão médio.

Comparando taxa de degradabilidade em 24 horas entre os inóculos (Tabela 3.5), foram identificadas diferenças para os substratos TPM e CM. Em TPM o CSC foi o

inóculo que apresentou maior e CSF a menor taxa ($P<0,05$), não houve diferença desses inóculos para LRO. Para CM o inóculo LRO apresentou a menor degradabilidade e CSC a maior ($P<0,05$), e não foi identificada diferença entre esses inóculos e CSF. Pode-se observar na Figura 3.6 a maior degradabilidade em todos os inóculos para CM, se destacando.

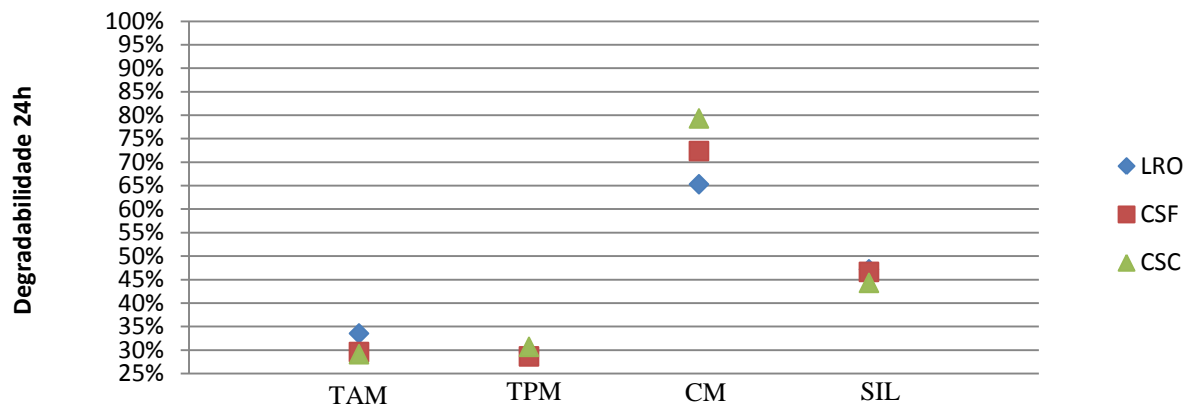


Figura 3.6 - Gráfico de interação de degradabilidade *in vitro* (%) de amostras coletadas 24 horas após inoculação. LRO = Líquido ruminal ovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, TAM = Torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata*, TPM = Torta da polpa da *Acrocomia aculeata*, CM = Casca de mandioca e SIL = Silagem de milho liofilizada.

A degradabilidade em 96 horas representada na Tabela 3.6, ilustra que CM obteve a maior taxa de degradabilidade, seguida respectivamente por SIL, TAM e TPM, em todos os três inóculos estudados. Como ilustrado na Figura 3.7 há uma grande distância entre o ponto de CM e os demais pontos relativos aos outros substratos.

O substrato TPM não apresentou diferença para degradabilidade 96 horas quando comparado a outros substrato por inóculo (Tabela 3.6). Para o substrato TAM o ceco de suíno criado confinado foi o que apresentou a maior degradabilidade e ceco de suíno criado ao ar livre apresentou a menor degradabilidade para esse substrato ($P<0,05$). Com CM, o inóculo LRO e CSC apresentaram maior e menor degradabilidade respectivamente, mas não diferenciaram de CSF. A taxa de degradabilidade de SIL por inóculo mostra LRO com a maior taxa, resultados semelhantes foram encontrados por Cabral et al. (2002), em silagens de milho com proporção de 0 a 60% de grãos, que apresentaram degradabilidade entre 62,2 e 80,6%. O CSF com a menor degradabilidade para SIL e CSC não diferiu de LRO e CSF. Na Figura 3.7 é possível visualizar que mesmo quando os inóculos diferiram, não houve uma grande distancia entre eles em relação a degradabilidade em 96h.

Tabela 3.6 - Degradabilidade *in vitro* da matéria seca (%) de amostras coletadas 96 horas após inoculação

Inóculos	Degradabilidade (%) 96h				CV	EPM	Valor de P
	Substratos						
	TAM	TPM	CM	SIL			
LRO	45,15 C b	38,97 D	91,93 A a	68,45 B a	1,8145	1,0905	<0,0001
CSF	39,97 C c	35,29 D	91,57 A ab	60,02 B b	2,5659	1,4551	<0,0001
CSC	50,88 C a	34,87 D	90,20 A b	64,96 B ab	5,6322	3,4497	<0,0001
CV	3,9851	5,8212	0,9597	5,3195			
EPM	1,8064	2,1173	0,8755	3,4297			
Valor de P	<0,0001	0,4320	0,0471	0,0212			

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha ou letras minúsculas diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). LRO = Líquido ruminal ovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, TAM = Torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata*, TPM = Torta da polpa da *Acrocomia aculeata*, CM = Casca de mandioca e SIL = Silagem de milho liofilizada. CV = coeficiente de variação, EPM = erro padrão médio.

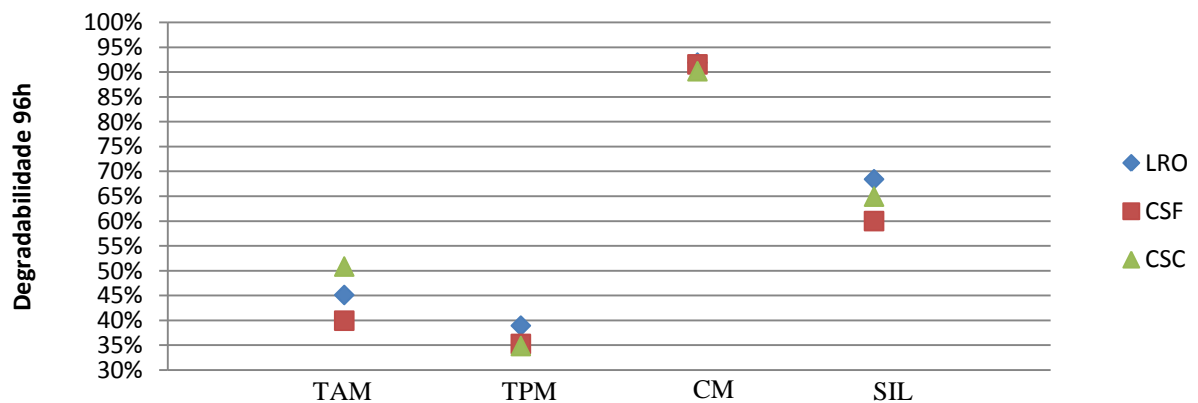


Figura 3.7 - Gráfico de interação de degradabilidade *in vitro* (%) de amostras coletadas 96 horas após inoculação. LRO = Líquido ruminal ovino, CSF = Ceco suíno criado ao ar livre, CSC = Ceco suíno criado confinado, TAM = Torta da amêndoa da *Acrocomia aculeata*, TPM = Torta da polpa da *Acrocomia aculeata*, CM = Casca de mandioca e SIL = Silagem de milho liofilizada.

Existe uma alta correlação positiva entre a degradação da matéria seca (Tabelas 3.5 e 3.6) e o potencial máximo produção de gás (Tabela 3.3) (MORGADO et al., 2013), pode explicar o maior potencial de produção de gás da CM e em seguida de SIL que apresentaram as duas maiores taxas de degradação da matéria seca, respectivamente.

6. CONCLUSÕES

O método de produção de gases e o modelo matemático usados no estudo se mostraram coerentes quanto aos resultados produzidos, mostrando que é possível usar a metodologia de produção de gases utilizada para ruminante também para inóculo de ceco de suínos, podendo adaptar no método o tempo de passagem do alimento pelo sistema digestivo do suíno.

As tortas da amêndoa e polpa da macaúba não apresentaram para os inóculo de líquido ruminal bovino, ceco de suíno criado confinado e ceco de suíno criado ao ar livre resultados satisfatórios de produção de gases e degradabilidade da matéria seca, não sendo esses substratos os mais ideais para fermentação microbiana dentre os substratos estudados.

A casca de mandioca obteve excelentes níveis de produção de gás, sugerindo maiores estudos utilizando subprodutos de mandioca pela alta capacidade fermentativa o qual esse substrato apresentou, caracterizando os gases produzidos.

O ceco de suíno confinado e de suíno criado ao ar livre apresentaram capacidade fermentativa similar e ou superior ao líquido ruminal de ovino, mostrando boa capacidade fermentativa do ceco suíno quando utilizado substratos mais fibrosos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, M.S. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.1447, 1997.
- AOAC. **Official methods of analysis**. Arlington, VA. 15ed. 1990.
- BEUVINK, J.M.W.; SPOELSTRA, S.F. Interactions between substrate, fermentation end-products, buffering systems and gas production upon fermentation of different carbohydrates by mixed rumen microorganisms *in vitro*. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 37, p. 505-509, 1992.
- BROUNS, F.; EDWARDS, S. A.; ENGLISH, P. R. Effect of dietary fibre and feeding system on activity and behaviour of housed gilts. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 39, p. 215-223, 1994.
- CABRAL, L.S.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E.; ZERVOUDAKIS, J.T.; PEREIRA, O.G.; VELOSO, R.G.; PEREIRA, E.S. Cinética ruminal das frações de carboidratos, produção de gás, digestibilidade *in vitro* da matéria seca e NDT estimado da silagem de milho com diferentes proporções de grãos. **Revista Brasileira Zootecnia**, v.31, p.2332-2339, 2002.
- CICONINI, G. **Caracterização de frutos e óleos de polpa de macaúba dos biomas cerrado e pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil**. 2012, p. 21-28. Dissertação de Mestrado – Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2011.
- CONCEIÇÃO, M.M.; SINFRÔNIO, F.S.M.; SANTOS, J.C.O; SILVA, M.C.D.; FONSECA, V.M.; SOUZA, A.G. Characterization and kinetic compensation effect of corn biodiesel. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v.461, p. 112-117, 2005.
- FARIAS, L.N.; VASCONCELOS, V.R.; CARVALHO, F.F.R.; SARMENTO, J.L.R. Avaliação dos modelos logístico bicompartimental e de Gompertz na estimativa da dinâmica de fermentação ruminal *in vitro* do farelo e da torta de babaçu (*Orbigya martiana*). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.63, n.1, p.136-142, 2011.
- FRANCE, J.; DHANOA, M.S.; THEODOROU, M.K.; LISTER, S.J.; DAVIS, D.R.; ISAC, D. A model to interpret gas accumulation profiles associated with *in vitro* degradation of ruminant feeds. **Journal Theoretical of Biology**, v.163, p.99-111, 1993.

- GERON, L.J.V. Utilização de resíduos agroindustriais na alimentação de animais de produção. **Pubvet**, v.1, n.9, ed. 9, Art. 312, 2007. Disponível em: <http://www.pubvet.com.br/artigos_det.asp?artigo=312> Acesso em: 05 fev. 2015.
- GUIMARÃES JÚNIOR, R.; CABRAL FILHO, S.L.S.; FERNANDES, F.D.; VILELA, F.D.; MARTHA JÚNIOR, G.B. Relação entre pressão e volume para implantação da técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases na Embrapa Cerrados. **Comunicado Técnico Embrapa Cerrados**, 2008.
- MAURICIO, R.M.; MOULD, F.L.; DHANOA, M.S. OWEN, E.; CHANNA, K.S.; THEODOROU, M.K. A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. **Animal Feed Science and Technology**, v.79, p.321-330, 1999.
- MAURÍCIO, R.M.; PEREIRA, L.G.R.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUEZ, N.M.; MARTINS, R.G.R.; RODRIGUES, J.A.S. Potencial da Técnica *in vitro* Semi-Automática de Produção de Gases para Avaliação de Silagens de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 4, p. 1013-1020, 2003.
- MOREIRA, J. M. M. A. P.; SOUSA, T. C. R. Macaúba: oportunidades e desafios. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**. 2009 Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/noticias/artigosmidia/publicados/163/>>. Acesso em: 07 fev. 2015.
- MORGADO, E.S.; EZEQUIEL, J.M.B.; HOMEN JUNIOR, A.C.; GALZERANO, L. Potencial de produção de gás metano e dióxido de carbono *in vitro* dos ingredientes utilizados em dietas para ovinos. **Ciência animal brasileira**, v.14, n.4, p. 413-417, 2013.
- NOGUEIRA, U.T.; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVEZ, L.C. Predição da degradação da matéria seca pelo volume de gases utilizando a técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, n.5, p. 901-909, 2006.
- NRC. **Nutrient requirements of swine**. 10 ed. Washington: National Academy, p. 189 1998.
- OFFNER, A.; BACH, A.; SAUVANT, D. Quantitative review of *in situ* starch degradation in the rumen. **Animal Feed Science and Technology**, v.106, p.81-93, 2003.
- THEODOROU, M.K.; WILLIAMS, B.A.; DHANOA, M.S. et al. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminants feeds. **Animal Technology Feed Science**, v.48, p.185-197, 1994.
- RAMONET, Y.; MEUNIER-SALAÜN, M.C.; DOURMAD, J.Y. High-fiber diets in pregnant sows: digestive utilization and effects on the behavior of the animals. **Journal of Animal Science**, v. 77, p. 591-599, 1999.
- RIBAS, R.G.; MOYLE, C.Y.; MIYAKI, E.J.L. The assembly of montane biotas: linking Andean tectonics and climatic oscillations to independent regimes of diversification in Pionus parrots. **Biological Sciences**, v.274, n.1624, p.2399-2408, 2007.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de Alimentos – Métodos Químicos e Biológicos**. 3.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, MG.150p.1997.

- SILVEIRA, R.N.; BERCHIELLI, T.T.; FREITAS, D.; SALMAN, A.K.D.; ANDRADE, P.; PIRES, A.V.; FERNANDES, J.J.R. Fermentação e degradabilidade ruminal em bovinos alimentados com resíduos de mandioca e cana-de-açúcar ensilados com polpa cítrica peletizada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.2, p. 793-801, 2002.
- VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. Fermentação ruminal. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de ruminantes**, 2ed. Jaboticabal, Editora FUNEP, 2011. p. 161-234
- ZANOTTO, D.L.; GUIDONI, A.L.; LIMA, G.J.M.M. Efeitos da granulometria do milho sobre a digestibilidade das dietas para suínos em crescimento e terminação. **Comunicado Técnico EMBRAPA Suínos e Aves**, p.1-2, 1998.

CAPITULO 4

CONCLUSÃO

O método de produção de gases e o modelo matemático usados no estudo se mostraram coerentes quanto aos resultados dos parâmetros estudados para suínos e ruminantes, mostrando que é possível usar a metodologia de produção de gases utilizada para ruminante também para inóculo de ceco de suínos, podendo adaptar no método o tempo de passagem do alimento pelo sistema digestivo do suíno. Porém mais estudos comparando os modelos matemáticos de ajuste da produção de gases in vitro, ainda são necessários para encontrar valores que possam ser mais próximo da produção de gás no suíno vivo.

No capítulo 2 foi estudada a inclusão de 10 e 20% de torta da amêndoa da macaúba na dieta basal, causando a diminuição da capacidade fermentativa e da degradabilidade das dietas. No capítulo 3 analisando as tortas da amêndoa e da polpa da macaúba, não mostrou resultados satisfatórios de produção de gases e degradabilidade da matéria seca. Esses resultados indicam uma baixa qualidade das tortas da macaúba, provavelmente pela alta proporção de lignina.

Os inóculos de suínos nos dois experimentos se mostraram com potencial fermentativo próximo e até chegando a serem melhores em relação aos inóculos de ruminantes. Portanto mostra que o ceco de suíno tem boa capacidade de fermentação, e que a inclusão de fibra na dieta de suínos pode trazer maior produção de gases a esses animais. Porém ainda se faz necessários maiores e mais específicos estudos, principalmente caracterizando os gases produzidos, para comprovação dos benefícios de incluir dietas mais fibrosas a animais monogástricos.