

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ALGAS MARINHAS *Schizochytrium sp.* NA ALIMENTAÇÃO DE OVINOS:
PARÂMETROS RUMINAIS, DIGESTIBILIDADE E PRODUÇÃO DE GASES *IN*
*VITRO***

Diego Armando Rojas Meza
Zootecnista

2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ALGAS MARINHAS *Schizochytrium sp.* NA ALIMENTAÇÃO DE OVINOS:
PARÂMETROS RUMINAIS, DIGESTIBILIDADE E PRODUÇÃO DE GASES *IN*
*VITRO***

Diego Armando Rojas Meza

Orientador: Prof. Dr. Américo Garcia da Silva Sobrinho

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

2017

Rojas Meza, Diego Armando

R742 a Algas marinhas *Schizochytrium sp.* na alimentação de ovinos : parâmetros ruminais, digestibilidade e produção de gases *in vitro* / Diego Armando Rojas Meza. -- Jaboticabal, 2017
42 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017

Orientador: Américo Garcia da Silva Sobrinho
Banca examinadora: Eric Haydt Castello Branco Van Cleef, Wignez Henrique
Bibliografia

1. Ácidos graxos. 2. Fermentação ruminal. 3. Metabolismo. 4. Produção de calor. 5. Santa Inês. 6. Termografia infravermelha. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.084.5:636.3



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ALGAS MARINHAS *Schizochytrium* sp. NA ALIMENTAÇÃO DE OVINOS: PARÂMETROS RUMINAIS, DIGESTIBILIDADE E PRODUÇÃO DE GASES *IN VITRO*

AUTOR: DIEGO ARMANDO ROJAS MEZA

ORIENTADOR: AMÉRICO GARCIA DA SILVA SOBRINHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ZOOTECNIA, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. AMÉRICO GARCIA DA SILVA SOBRINHO
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. ERIC HAYDT CASTELLO BRANCO VAN CLEEF
Departamento de Agronomia / UFTM / Iturama/MG

Profa. Dra. WIGNEZ HENRIQUE
Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios / APTA / São José do Rio Preto/SP

Jaboticabal, 28 de novembro de 2017

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

DIEGO ARMANDO ROJAS MEZA – filho de Gabriel Alonso Rojas Paez e Ruth Meza de Rojas, nascido em Ocaña - Norte de Santander, Colômbia, no dia 23 de março de 1984. Em fevereiro de 2010 ingressou no Curso de Graduação em Zootecnia, na Universidade Francisco de Paula Santander - Câmpus de Ocaña, graduando-se em dezembro de 2013. Em março de 2014 fez estágio de pesquisa como estudante especial do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Estadual de Londrina – UEL. Em 2015 ingressou no Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível de Mestrado, na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Unesp – Câmpus de Jaboticabal, sendo bolsista do CNPq, sob orientação do Prof. Dr. Américo Garcia da Silva Sobrinho.

“Por grande e digno que seja o ideal a que se aspira, só terá valor quando conseguido, se o foi de maneira honesta.”

Van Dongen

“Há algo maior do que o orgulho, e mais nobre do que a vaidade, a modéstia; e algo mais raro que a modéstia é a simplicidade”.

Antoine de Rivarol

DEDICO

À minha mãe, Ruth Meza de Rojas e meu pai, Gabriel Alonso Rojas Paez (In Memoriam), por todo o amor, educação, apoio e inúmeros sacrifícios...

Aos meus irmãos John, Elkin e Julian Rojas Meza, pelo carinho, exemplo e apoio constante...

À minha amada avó, Ana Rosa Amaya, exemplo de amor, bondade e tolerância, que sempre implorou a Deus que abençoasse meu caminho e cuidasse de mim em todos os momentos!

Aos meus familiares e amigos que sempre acreditaram em mim e me brindaram com seu afeto sincero!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus!

À minha família, exemplo de fortaleza e responsabilidade, agradeço pelo amor, apoio e confiança.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Câmpus de Jaboticabal, pela oportunidade da realização do Curso de Mestrado.

Ao Prof. Dr. Américo Garcia da Silva Sobrinho, pelas inúmeras oportunidades, amizade, confiança, paciência, ensinamentos e orientação no curso de Mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio à pesquisa concedido (Processo nº 2016/01159-1) e ao CNPq pela bolsa de Mestrado (Processo nº 132413/2015-9).

Aos Professores Dr. Euclides Braga Malheiros, Dr^a. Telma Teresinha Berchielli, Dr. Ruben Pablo Schocken-Iturrino, Dr^a. Janete Aparecida Desidério, Dr^a. Sonia Marli Zingaretti, Dr. Gustavo Resende Siqueira, Dr^a. Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira pelos ensinamentos transmitidos nas disciplinas.

Aos Professores Dr. Américo Garcia da Silva Sobrinho, Dr^a. Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira, Dr^a. Jane Maria Bertocco Ezequiel e Dr. Antônio Sergio Ferraudo pelas valiosas sugestões na Defesa do Projeto de Pesquisa e no Exame Geral de Qualificação.

Aos Professores Dr. Américo Garcia da Silva Sobrinho, Dr^a. Wignez Henrique e Dr. Eric Haydt Castello Branco Van Cleef pelas valiosas sugestões na Defesa da Dissertação.

À professora Jane Bertocco Ezequiel por facilitar a Unidade de Estudos Digestivos e Metabólicos para a realização do meu experimento e parte das análises laboratoriais, pela confiança, o carinho, os sorrisos e esse carisma único.

Ao Prof. Dr. Antônio Sergio Ferraudo, pela confiança, os conselhos, pela ajuda e comprometimento com a minha situação nos momentos mais difíceis.

À Dr^a. Márcia Helena Machado da Rocha Fernandes, Dr. Eric Van Cleef e Dr.^a Karla Harper, pela revisão do material e fundamental colaboração ao longo do Curso.

Ao doutorando Marco Tulio Costa Almeida, pela ajuda, amizade, e por ter sido meu “braço direito” ao longo de todo meu treinamento.

Aos colegas de equipe Nomaiaci Andrade, Roberta de Lima Valença, Eliéder Prates Romanzini, Thiago Borghi, Leonardo Guimarães e à estagiária Marcella Bogatzky, muito obrigado pelo auxílio na consecução desta conquista e pela amizade que construímos. Sem vocês tudo teria sido mais difícil.

Aos colegas da Equipe da Unidade Animal de Estudos Digestivos e Metabólicos, Henrique Leal Péres, Edivilson Silva Castro Filho e Josimari Paschoaloto.

Aos funcionários João Luiz Guariz, do Laboratório de Produção Ovina, pela amizade e pelo exemplo de dedicação ao trabalho. Ana Paula de Oliveira Sader e Orlando Agostini do Laboratório de Análise de Alimentos e Nutrição Animal – LANA, pela ajuda e os ensinamentos na fase de análises laboratoriais, e Renato Cruz, da Unidade Animal de Estudos Digestivos e Metabólicos, pela colaboração ao longo da fase experimental.

Aos amigos da família de estrangeiros, especialmente Oscar Sierra, Ricardo Ramirez, Yury Tatiana Granja, Anny Célis, David Lopez, Miguel Lopez, Angel Lazaro, Mar Roldan e Irene Cabezas, obrigado pelas conversas, os bons momentos e apoio nas dificuldades.

À empresa AGROPALMA S/A por conceder o óleo de palma bruto para o ajuste das dietas experimentais.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho!

Muito obrigado!

SUMÁRIO

	Página
CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS	III
RESUMO	IV
ABSTRACT	V
LISTA DE ABREVIATURAS	VI
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
CAPÍTULO 1- CONSIDERAÇÕES GERAIS	
1. Introdução	1
2. Revisão da literatura	2
2.1. Algas marinhas na dieta de ovinos	2
2.2. Consumo e digestibilidade <i>in vitro</i> de nutrientes	5
2.3. Produção de calor avaliada por termografia infravermelha	6
2.4. Parâmetros ruminais.....	7
2.5. Produção de metano	8
3. Objetivos gerais	9
4. Referências	10
CAPÍTULO 2 – CONSUMO, PARÂMETROS RUMINAIS, AVALIAÇÃO TERMOGRÁFICA, DIGESTIBILIDADE E PRODUÇÃO DE GASES <i>IN VITRO</i>	
RESUMO	15
1. Introdução.....	16
2. Material e métodos.....	18
2.1. Local	18
2.2. Dietas experimentais	18
2.3. Produção de calor avaliada por termografia infravermelha	21
2.4. Parâmetros ruminais	23
2.5. Produção total de gases	23
2.6. Digestibilidade <i>in vitro</i> da MS e dos nutrientes.....	24

2.7. Análises estatísticas	25
3. Resultados	26
4. Discussão	30
4.1. Consumo de MS e nutrientes	31
4.2. Produção de calor avaliada por termografia infravermelha	31
4.3. Parâmetros de fermentação ruminal	33
4.4. Produção total de gases <i>in vitro</i>	34
4.5. Digestibilidade <i>in vitro</i> das dietas	35
5. Conclusão	36
5. Referências	37

CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Jaboticabal



CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o Projeto intitulado "**Alga marinha (*Schizochytrium sp.*) na alimentação de cordeiros confinados: desempenho, digestibilidade e qualidade da carcaça e da carne**", protocolo nº 12883/15, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Américo Garcia da Silva Sobrinho, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de junho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL -SP, em reunião ordinária de 07 de agosto de 2015.

Vigência do Projeto	01/08/2015 a 01/08/2017
Espécie / Linhagem	Ovina / Ile de France
Nº de animais	32
Peso / Idade	20kg / 60 dias
Sexo	Machos
Origem	Laboratório de Produção ovina

Jaboticabal, 07 de agosto de 2015.

Profª Drª Paola Castro Moraes
Coordenadora – CEUA

**ALGAS MARINHAS *Schizochytrium sp.* NA ALIMENTAÇÃO DE OVINOS:
PARÂMETROS RUMINAIS, DIGESTIBILIDADE E PRODUÇÃO DE GASES *IN*
VITRO**

RESUMO – Alimentos ricos em ácidos graxos são utilizados na espécie ovina substituindo alimentos convencionais como soja e milho, e visam aumentar a eficiência no uso da energia por parte dos animais sem afetar negativamente os parâmetros de fermentação ruminal. Objetivou-se com este trabalho avaliar o consumo, parâmetros ruminiais e produção de calor pela ingestão de alimento em carneiros Santa Inês confinados, recebendo tratamentos sem e com inclusão de 2 e 4% de farinha de algas marinhas *Schizochytrium sp.* em substituição ao grão de milho moído, assim como a digestibilidade e produção de gases *in vitro* das dietas. Foram utilizados 6 carneiros castrados com $55,6 \pm 5,2$ kg de peso corporal, providos de cânula ruminal e alojados em baias individuais. O delineamento experimental foi o quadrado latino duplo 3 x 3, tendo as dietas relação volumoso:concentrado 40:60, em que os tratamentos foram: controle D0, sem inclusão de farinha de algas marinhas; D2 e D4 contendo 2 e 4% de farinha de algas marinhas na matéria seca respectivamente, em substituição ao grão de milho moído. Cada período experimental teve duração de 21 dias com 14 dias de adaptação aos tratamentos e 7 dias de coleta. Os dados foram analisados por intermédio do Software R (versão 3.2.2), sendo as comparações das médias feitas pelo teste de Tukey a 5% de significância. A inclusão de farinha de algas marinhas nos teores 2 e 4% não afetou a produção de gases avaliada pela técnica *in vitro* ($P > 0,05$) e a produção de calor avaliada por termografia infravermelha ($P > 0,05$), quando comparadas com o tratamento controle. Os tratamentos avaliados foram semelhantes quanto à digestibilidade *in vitro* da matéria seca, dos nutrientes e parâmetros ruminiais (pH e ácidos graxos de cadeia curta), e só diferiram ($P < 0,05$) na digestibilidade da fibra em detergente neutro, carboidratos não fibrosos e na concentração de nitrogênio amoniacal no líquido ruminal. Houve diferença significativa ($P < 0,05$) no consumo da matéria seca (1,14 para 0,86 kg/d), e dos nutrientes matéria orgânica (1,07 para 0,80 kg/d), carboidratos totais (0,86 para 0,64 kg/d), fibra em detergente neutro (0,38 para 0,31 kg/d), carboidratos não fibrosos (0,48 para 0,33 kg/d), proteína bruta (0,156 para 0,114 kg/d) e energia bruta (4,69 para 4,36 Mcal) entre os tratamentos D0 e D4 respectivamente. A inclusão da farinha de algas marinhas *Schizochytrium sp.* na dieta, em substituição ao grão de milho moído, não comprometeu os parâmetros ruminiais e a produção de calor por ingestão de alimento, tampouco a produção de gases *in vitro*. Recomenda-se a utilização de farinha de algas marinhas na alimentação de carneiros Santa Inês confinados sob condições tropicais no teor de 2% sem afetar o consumo e digestibilidade *in vitro* das dietas. Trabalhos para avaliar desempenho, características da carcaça e da carne são necessários.

Palavras-chave: ácidos graxos, fermentação ruminal, metabolismo, produção de calor, Santa Inês, termografia infravermelha

MARINE ALGAE *Schizochytrium sp.* IN SHEEP FEEDING: RUMINAL PARAMETERS, *IN VITRO* DIGESTIBILITY AND GAS PRODUCTION

ABSTRACT – Foods rich in fatty acids has been used in replacement of conventional foods in sheep such as soybeans and corn, in order to increase efficiency energy in animals, without affecting ruminal fermentation parameters. This trial aimed to evaluate intake, ruminal parameters and heat production by feed intake in confined Santa Inês rams, receiving treatments without and with inclusion of 2 and 4% of marine algae *Schizochytrium sp.* meal, replacing ground corn grain, as well as *in vitro* digestibility and gas production. Six castrated rams with 55.6 ± 5.2 kg of body weight, provided with ruminal cannula, were confined in individual pens. The experimental design was double Latin square 3x3, where diets had a roughage:concentrate ratio of 40:60, in which the treatments were: control D0, without marine algae meal inclusion; D2 and D4 containing 2 and 4% marine algae meal in dry matter respectively, replacing ground corn grain. Each experimental period had duration of 21 days, with 14 days of adaptation to treatments and 7 days of collection. The data were analyzed using R Software version 3.2.2 and comparison between treatments means made with Tukey test at 5% of significance. The inclusion of marine algae meal at levels of 2 and 4% did not affect total gas production evaluated by the *in vitro* technique ($P>0.05$) and heat production evaluated by the infrared thermography technique ($P>0.05$), when compared to control treatment. The treatments evaluated were similar in terms of *in vitro* digestibility of dry matter, nutrients and ruminal fermentation parameters (pH and short chain fatty acids), they only differed ($P<0.05$) in neutral detergent fiber, non-fibrous carbohydrates digestibility and ammonia nitrogen concentration in ruminal liquor. There was a significant difference ($P<0.05$) for dry matter intake (1.14 to 0.86 kg/d), organic matter (1.07 to 0.80 kg/d), total carbohydrates (0.86 to 0.64 kg/d), neutral detergent fiber (0.38 to 0.31 kg/d), non-fibrous carbohydrates (0.48 to 0.33 kg/d), crude protein (0.156 to 0.114 kg/d) and crude energy (4.69 to 4.36 Mcal) between treatments D0 and D4 respectively. The inclusion of marine algae *Schizochytrium sp.* meal in the diet, replacing the ground corn grain, did not affect the ruminal parameters and the heat production by food ingestion, like the *in vitro* gas production. It is recommended the use of marine algae meal in feed of Santa Inês sheep confined under tropical conditions at 2% content without affecting dry matter intake and *in vitro* digestibility of diets. Researches to evaluate performance, carcass and meat characteristics are necessary.

Keywords: fatty acids, heat production, infrared thermography, metabolism, ruminal fermentation, Santa Inês

LISTA DE ABREVIATURAS

- AGCC: Ácidos graxos de cadeia curta
- AGPi: Ácidos graxos poliinsaturados
- AOAC: Association of Official Analytical Chemists
- A:P: Relação acetato:propionato
- CEUA: Comissão de Ética no Uso de Animais
- CH₄: Gás metano
- CLA: Ácido linoléico conjugado
- CNF: Carboidratos não fibrosos
- CT: Carboidratos totais
- CONCEA: Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal
- CO₂: Dióxido de carbono
- DHA: Ácido docosahexaenoico 22:6 n-3
- D0: Dieta controle sem inclusão de algas marinhas
- D2: Dieta com inclusão de 2% de algas marinhas na MS
- D4: Dieta com inclusão de 4% de algas marinhas na MS
- EPA: Ácido eicosapentaenoico 20:5 n-3
- EE: Extrato etéreo
- EB: Energia bruta
- FAO: Food and Agriculture Organization
- FAOSTAT: Statistics Division of Food and Agriculture Organization
- FCAV: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
- FDNcp: Fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína
- FDA: Fibra em detergente ácido
- KOH: Hidróxido de potássio
- MS: Matéria seca
- MM: Matéria mineral
- MO: Matéria orgânica
- NRC: National Research Council
- N-NH₃: Nitrogênio amoniacal
- n-3: Ômega 3
- n-6: Ômega 6
- O₂: Oxigênio

ONU: Organização das Nações Unidas

PB: Proteína Bruta

pH: Potencial hidrogeniônico

TI: Termografia Infravermelha

LISTA DE TABELAS

	Pág
Tabela 1. Composição químico-bromatológica e perfil lipídico dos ingredientes.....	19
Tabela 2. Composição percentual dos ingredientes, químico-bromatológica e perfil lipídico das dietas experimentais.....	20
Tabela 3. Consumo de MS e nutrientes em ovinos Santa Inês recebendo tratamento controle ou com inclusão de 2 e 4% de farinha de algas marinhas <i>Schizochytrium sp.</i>	26
Tabela 4. Temperatura média e máxima (°C) da superfície corporal avaliada por termografia infravermelha em ovinos Santa Inês recebendo tratamento controle ou com inclusão de 2 e 4% de farinha de algas marinhas <i>Schizochytrium sp.</i>	27
Tabela 5. Parâmetros ruminais em ovinos da raça Santa Inês recebendo tratamento controle ou com inclusão de 2 e 4% de farinha de algas marinhas <i>Schizochytrium sp.</i>	28
Tabela 6. Produção total de gases <i>in vitro</i> do tratamento controle ou tratamento com inclusão de 2 e 4% de farinha de algas marinhas <i>Schizochytrium sp</i>	29
Tabela 7. Digestibilidade <i>in vitro</i> da MS e frações nutritivas do tratamento controle ou tratamentos com inclusão de 2 e 4% de farinha de algas marinhas <i>Schizochytrium sp.</i>	30

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Imagens dos locais do corpo avaliados com TI em ovinos da raça Santa Inês recebendo tratamento controle e com inclusão de 2 e 4% de farinha de algas marinhas <i>Schizochitrium sp.</i>	22
Figura 2. pH do fluido ruminal de ovinos da raça Santa Inês nos tempos de colheita avaliados, alimentados com tratamento controle ou com 2 e 4% de farinha de algas marinhas <i>Schizochytrium sp.</i> na dieta	28
Figura 3. Concentrações de nitrogênio amoniacal (N-NH ₃) no fluido ruminal de ovinos Santa Inês nos tempos de coleta avaliados, alimentados com tratamento controle ou tratamento com 2 e 4% de farinha de algas marinhas <i>Schizochytrium sp.</i> na dieta	29

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1. Introdução

Alimentos ricos em ácidos graxos são utilizados na espécie ovina substituindo alimentos convencionais como soja e milho, e visam aumentar a eficiência no uso da energia por parte dos animais, sem afetar negativamente os parâmetros de fermentação ruminal (NAGARAJA et al., 1997), evitando competição com a espécie humana pelo consumo desses alimentos (FONTANA, 2011). Nesse intuito, o uso de algas marinhas *Schizochytrium sp.* como fonte de ácido graxo poliinsaturado (AGPi) docosahexaenoico (DHA - 22:6 n-3) na nutrição de ruminantes, aparece como alternativa, mas pouco se reporta aos efeitos desta sobre os parâmetros de fermentação ruminal em ovinos, principalmente mantidos em condições tropicais.

As algas marinhas são organismos que habitam ecossistemas de águas salgadas e classificam-se de forma geral em macro e microalgas. Macroalgas envolvem algas marrons (Phaeophyceae), vermelhas (Rhodophyceae) e verdes (Chlorophyceae), as quais são ricas em fibra, proteína, minerais e compostos bioativos como terpenos, isoprenoides, fenóis, etc (MAKKAR et al., 2016). Entretanto, microalgas são ricas em pigmentos e lipídios, como *Schizochytrium sp.*, caracterizada por possuir cerca de 50% de extrato etéreo na matéria seca, e ser rica em DHA (27,7% no extrato etéreo, aproximadamente). O óleo de peixe é também rico em DHA, tendo como fonte original as microalgas marinhas, como as do gênero *Schizochytrium*, de onde os peixes obtêm as quantidades de DHA que serão fixadas no óleo ao longo da cadeia trófica (STAMEY et al., 2012; MEALE et al., 2014).

Além de fornecer nutrientes, algas marinhas são reconhecidas por consumir grandes quantidades de CO₂ e produzir quantidades importantes de O₂ no seu habitat natural (HARUN et al., 2010). O uso de algas marinhas na alimentação animal não interfere no processo biológico em menção, pelo contrário, transfere-se este à terra somado à atividade das algas nas zonas litorâneas, ao serem produzidas em sistemas abertos e fechados, de onde se obtêm biomassa fonte de nutrientes para a alimentação humana e animal (MENEZES et al., 2013).

Algas marinhas do gênero *Schizochytrium* têm sido utilizadas na nutrição de ruminantes, avaliando seus efeitos no metabolismo dos ácidos graxos da série C18, precursores da síntese de CLA e seus intermediários no rúmen (KLEIN & JENKINS, 2011; CASTILLO et al., 2012; ALVARENGA et al., 2015), assim como tem-se

avaliado as quantidades de CLA e outros ácidos graxos n-3 nos produtos finais destes animais (leite ou carne) quando incluídas algas marinhas na dieta (TORAL et al., 2010; BICHI et al., 2013; MEALE et al., 2014; URRUTIA et al., 2016; DIAZ et al., 2017).

Adicionalmente, tem se estudado o DHA como forte inibidor da produção de metano entérico (BOECKAERT et al., 2006; BOŽIC et al., 2009; DUBOIS et al., 2013; MACHADO et al., 2014; BELANCHE et al., 2016; KLOP et al., 2016; MAIA et al., 2016), assim como seus efeitos nos parâmetros ruminais, consumo e digestibilidade das dietas quando oriundo de algas marinhas *Schizochytrium* (STAMEY et al., 2012; MAIA et al., 2016; DIAZ et al., 2017) e em alguns casos, do óleo de peixe (VAHMANI et al., 2013; FERREIRA et al., 2014; ZHAO et al., 2016) em climas temperados, havendo escassez de avaliações com uso de algas marinhas em condições tropicais.

Pouco se conhece sobre o DHA, como afeta a microbiota ruminal e como os microrganismos transformam esse ácido graxo na passagem pelo rúmen. Mais estudos são necessários para elucidar os mecanismos de interação da molécula no trato gastrintestinal, considerando as limitadas experiências que envolvem seu metabolismo (VLAEMINCK et al., 2014).

Assim, objetivou-se avaliar o efeito da substituição do grão de milho moído (fonte de amido) por 2 e 4% de farinha de algas marinhas do gênero *Schizochytrium*, com elevada concentração de AGPi docosahexaenoico (DHA - 22:6 n-3), sobre o consumo de MS e nutrientes, parâmetros ruminais (pH, N-NH₃ e AGCC), produção de calor avaliada por TI, digestibilidade e produção de gases *in vitro*, em dietas para ovinos Santa Inês em condições tropicais.

2. Revisão da literatura

2.1 Algas marinhas na dieta de ovinos

As microalgas marinhas são consideradas fontes importantes de nutrientes para humanos e animais, ao sintetizarem reservas de energia como substâncias de alto valor biológico (Garcia, 2013). Esses organismos unicelulares caracterizam-se por serem organismos autótrofos e heterótrofos, o que lhes atribui alta plasticidade metabólica e crescimento acelerado, sendo estas responsáveis por 90% da fotossíntese do planeta, produzindo altas quantidades de O₂ e ajudando consequentemente na redução do efeito estufa.

Pereira et al. (2012) salientaram que, quando comparadas com a soja e outras fontes vegetais terrestres na produção de lipídios, as microalgas têm o potencial de produzir 58.700 L/ha de óleo com predominância dos ácidos graxos poliinsaturados eicosapentaenoico (EPA - 20:5 n-3) e docosaexaenoico (DHA - 22:6 n-3), enquanto fontes como soja e milho podem produzir apenas, em média, 446 e 172 L/ha, respectivamente.

Segundo Fontana (2011) e Menezes et al. (2013), algas marinhas, ao contrário das plantas convencionais, podem ser cultivadas em culturas de sistemas abertos (espécie de tanques com exposição das algas ao ar livre) ou fechados e altamente controlados (biorreatores), alcançando alta produtividade em condições onde as culturas convencionais não poderiam se desenvolver, evitando a competição com a agricultura tradicional, pois não demandam terras férteis e/ou aráveis para sua produção.

A farinha de microalgas marinhas do gênero *Schizochytrium* caracteriza-se por ser um pó de cor bege, com forte cheiro de peixe e tendência a formar grumos devido ao seu alto conteúdo de extrato etéreo (próximo a 50% da MS). A farinha é produzida fora do Brasil em sofisticados sistemas fechados (biorreatores), através do método de secagem "Spray Drying", o qual acaba incrementando o custo do ingrediente, fazendo com que o valor do produto no mercado brasileiro seja próximo de R\$45 por kg, sendo 100 vezes o preço do kg do grão de milho. Na composição química-bromatológica, destacam-se o conteúdo de ácido graxo DHA (27,7% do total de EE) e seu teor de Proteína Bruta (15,46%).

Boeckert et al. (2006), ao avaliarem a taxa de biohidrogenação de ácidos graxos insaturados com inclusão de algas marinhas *Schizochytrium* em concentrações de 20,8, 41,6 e 83,3 mg em combinação com 20 mg de óleo de girassol ou óleo de linhaça em ensaios com incubações *in vitro* de 25 mL, constataram diminuição gradativa da biohidrogenação do ácido graxo 18:2 n-6, com acúmulo de 18:1 no líquido ruminal, corroborando estes resultados em um segundo experimento, em que aumentos no acúmulo de 18:2 t11 c15 e, em menor proporção, de 18:1 t10 t11 foram reportados. Além do citado, os autores salientaram supressão ruminal da metanogênese, com comportamento linear decrescente respectivo à adição gradativa da alga marinha nas culturas, acompanhada de uma diminuição significativa nas concentrações de acetato e butirato, e elevação na proporção molar de propionato.

Em um terceiro estudo no ano 2007 realizado em vacas leiteiras canuladas no rúmen, os autores supracitados reportaram concentrações mais baixas de ácidos graxos saturados, enquanto as concentrações de ácidos graxos monoinsaturados e poliinsaturados aumentaram significativamente no líquido ruminal de animais alimentados a base de dietas com adição de 4,3% de algas *Schizochytrium* em comparação com o tratamento controle. A biohidrogenação incompleta dos ácidos linoleico (18:2 n-6) e linolênico (18:3 n-3) foi observada, resultando em forte acúmulo de 18:1 t11, 18:1 t10, 18:2 t11 c15 e 22:6 n-3 oriundo da dieta.

Toral et al. (2010) não reportaram diferenças na ingestão de matéria seca e produção de leite de ovelhas Assaf em lactação, alimentadas com uma dieta controle (sem adição de algas marinhas) e com dietas contendo 25 g de óleo de girassol + 0, 8, 16 e 24 g de algas marinhas *Schizochytrium* por kg de MS consumido, mas observaram diminuição na gordura do leite dos animais em que a fonte lipídica foi algas marinhas. Entretanto, os autores destacaram concentração de 18:2 c9 t11, sete vezes maior que na dieta controle.

Bichi et al. (2013) ao realizarem estudo com ovelhas Assaf em lactação alimentadas com uma dieta controle (com adição de 25 g de óleo de girassol) e um segundo tratamento (controle + 8 g de algas marinhas *Schizochytrium* por kg de MS consumido) não observaram diferenças na produção leiteira, mas reportaram diminuição de até 17% no teor de gordura do leite ao final do experimento no tratamento com inclusão de algas marinhas. A dieta com adição de algas causou redução do ácido graxo 18:0 e seu produto de dessaturação, 18:1 c9, no leite. Ainda segundo os autores, a inclusão de algas na dieta aumentou o teor dos ácidos graxos insaturados 18:1 t11, e dos poliinsaturados 18:2 c9 t11 e 22:6 n-3 do leite.

Em pesquisa de Urrutia et al. (2016), estudando o efeito do óleo de linhaça e algas marinhas *Schizochytrium* como fonte de DHA em cordeiros desmamados, foram avaliados 3 tratamentos: controle, sem adição de linhaça e algas marinhas e outros dois tratamentos com adição de 10% de linhaça e 5% de linhaça + 3,89% de algas marinhas respectivamente, sobre o consumo e desempenho dos animais. Os autores salientaram que a ingestão de matéria seca dos cordeiros neste estudo foi de 1020, 1002 e 790 g/animal/dia, respectivamente. Assim, cordeiros alimentados com a dieta linhaça + algas marinhas tiveram menor ganho médio de peso diário e maior idade ao abate em comparação com as dietas controle e linhaça ($P < 0,001$), não sendo observadas diferenças no consumo, ganho médio de peso diário e maior

idade ao abate de cordeiros alimentados com a dieta linhaça, em comparação aos do grupo controle ($P > 0,05$).

2.2 Consumo e digestibilidade *in vitro* de nutrientes

Em ruminantes, o consumo de nutrientes é função do animal, do alimento, das condições de alimentação e dos fatores ambientais que envolvem temperatura e duração do dia (MERTENS, 1994). Assim, a saciedade pode ser um fator fisiológico limitante do consumo para dietas com elevada densidade energética, como dietas com alto teor de concentrados e/ou suplementação lipídica. Já em animais alimentados com dietas com alta proporção de volumoso, os fatores físicos predominam no controle do consumo, sendo limitado pelo volume ocupado pela dieta e pela capacidade anatômica do rúmen-retículo (CLARK et al., 1992).

A fermentação ruminal é resultado da atividade física e microbiológica que transforma componentes dietéticos em ácidos graxos de cadeia curta, proteína microbiana, algumas vitaminas, gases (metano, dióxido de carbono e amônia), nitrato e outros produtos. Nas dietas dos ruminantes, o teor de extrato etéreo normalmente não supera o 4%, considerando a utilização habitual de ingredientes com baixos teores deste nutriente. No entanto, alterações podem ocorrer no pH ruminal com a utilização de carboidratos não fibrosos como única fonte energética, causando distúrbios metabólicos, comprometendo o potencial de fermentação ruminal, a digestibilidade dos nutrientes e, conseqüentemente, o desempenho animal. Nesse contexto, lipídios em quantidades razoáveis são uma alternativa viável para aumentar a densidade energética das dietas, sem alterar abruptamente o pH ruminal, possibilitando melhorias no perfil de ácidos graxos nos produtos finais (SILVA, et al., 2014).

Machado et al. (2014) realizaram estudo avaliando os efeitos de algas tropicais em parâmetros de fermentação *in vitro* (pH, amônia, degradabilidade da matéria orgânica e concentrações de ácidos graxos de cadeia curta) por meio da incubação de amostras de 0,2 g de matéria orgânica de 20 tipos de algas marinhas e 1 g de forragem em 125 mL de líquido ruminal coletado de bovinos *Bos indicus* durante um período de 72 horas. O uso de algas não teve efeito sobre o pH e a degradabilidade da matéria orgânica, nem resultou em aumentos das concentrações de amônia. Porém, a inclusão de algas ocasionou diminuição na concentração total

de ácidos graxos de cadeia curta e aumento na concentração molar de propionato, indicando que a fermentação anaeróbia foi afetada.

Em outro estudo, Wang et al. (2008) avaliaram o efeito de níveis de 125, 250 e 500 mg de florotaninos oriundos da macroalga marinha *Ascophyllum nodosum* na fermentação ruminal de mistura de forragens ou grão de cevada. Foram determinadas concentrações de ácidos graxos de cadeia curta, amônia, digestibilidade *in vitro* da fibra em detergente neutro e amido. O uso de algas inibiu a fermentação, diminuindo a digestibilidade *in vitro* da fibra em detergente ácido e a produção de gás em culturas com mistura de forragens, sendo que em incubações com grãos de cevada, a produção de gás e a digestibilidade do amido também foram inibidas.

Em outro experimento realizado pelo mesmo autor, mistura de forragem foi incubada com algas e polietilenoglicol (PEG), com caseína marcada com N¹⁵. A produção de metano, gás total, concentrações de ácidos graxos de cadeia curta e amônia foram medidas às 0, 4, 8, 12 e 24 h, sendo que a produção líquida de amônia a partir de caseína foi menor com algas quando comparado ao tratamento controle, mas não foi alterada pelas algas quando adicionado PEG. A produção de metano e gás total foi reduzida pela inclusão de algas ao longo da incubação de 24 horas. Com ambas as dietas, a fermentação ruminal *in vitro* e a degradação das proteínas também foi reduzida pela inclusão de algas de forma dose-dependente.

2.3 Produção de calor avaliada por termografia infravermelha (TI)

A medição da temperatura da superfície do corpo dos animais pode ser relacionada com vários processos fisiológicos associados com a eficiência alimentar. Estudos sobre o metabolismo da energia nos ruminantes têm demonstrado que os animais mais eficientes perdem menos calor no processo fermentativo (NKRUMAH et al., 2006; CASTRO BULLE et al., 2007), resultando em menor alteração da temperatura na superfície corporal (SCHAEFER et al., 2005; MONTANHOLI et al., 2007). Outra avaliação alternativa é a TI, que vem sendo testada para prever produção de calor, produção de metano e detecção de eventos fisiológicos como aumento de calor decorrente da alimentação, principalmente em gado leiteiro (MONTANHOLI et al., 2008).

Além disso, alguns estudos têm utilizado TI para determinar as perdas de calor por radiação e convecção (PHILLIPS e SANBORN, 1994; EK et al., 1999), que

compreendem até 73% da perda de calor total (HARDY e DU BOIS, 1938), pelo fato de a alteração da fermentação do rúmen conduzir a uma mudança na sua temperatura e, conseqüentemente, da circulação superficial em relação aos mecanismos de dispersão térmica do animal (GATTO et al., 2010). A efetividade da substituição de carboidratos não fibrosos (milho em grão moido) por fontes lipídicas (algas marinhas como fonte de AGPi) na dieta de ovinos, como precursor da eficiência energética, pode ser avaliada com TI, considerando as variações na produção de calor e temperatura da superfície corporal decorrentes da fermentação ruminal.

2.4 Parâmetros ruminais

O pH ruminal tem estreita relação com os produtos finais da fermentação e com a taxa de crescimento dos microrganismos ruminais. Assim como a degradação dos nutrientes é determinada pela interação entre as taxas de degradação e passagem, a avaliação de ambas é necessária para estimar as quantidades de energia e de compostos nitrogenados disponíveis no rúmen (RUSSEL et al., 1992). A concentração de nitrogênio amoniacal no líquido ruminal é consequência do equilíbrio entre sua produção e aproveitamento pelos microrganismos (ZEOULA et al., 1998), permitindo conhecer o possível desbalanceamento na digestão da proteína. Além disso, o pH do fluido ruminal pode influenciar bactérias produtoras de AGCC específicos. A proporção molar destes produtos é importante considerando que o padrão de fermentação e a concentração total de AGCC no líquido ruminal são determinantes da utilização dos alimentos pelos ruminantes (FRANCE & SIDDON, 1993). Estimar a contribuição energética dos AGCC para os ruminantes é possível ao utilizar os valores de sua concentração ruminal (ITAVO et al., 2000).

Ao estudarem os padrões de fermentação e a produção de ácidos graxos de cadeia curta em culturas *in vitro* sem aditivo (controle) ou contendo nitroetano, sal sódica do ácido láurico, Lauricidin® e algas marinhas *Chaetoceros* aos teores de 1,5, 5 e 10 mg/mL de cultura, Božic et al. (2009) reportaram diminuições nas produções de acetato (de 62,77 para 41,33 $\mu\text{mol/mL}$) e na relação acetato:propionato (1,81 para 1,19 $\mu\text{mol/mL}$) quando comparado o maior teor de inclusão de alga marinha ao tratamento controle.

Boeckert et al. (2008) avaliaram parâmetros ruminais de vacas leiteiras fistuladas alimentadas com dietas contendo algas, não observando diferenças no pH

ruminal, mas diminuição na produção de butirato e aumento na proporção molar de isovalerato no rúmen. A suplementação com algas afetou a biohidrogenação dos ácidos linoleico e linolênico, resultando em aumento dos ácidos linoleico conjugado (CLA) 18:1 c9 t11, 18:1 t10, 18:1 t11, e nas concentrações de 22:6.

Ao estudarem a origem do 18:1 t11 no rúmen, a partir da lipólise de DHA ou de outros ácidos graxos, com a utilização de DHA marcado no carbono treze (C¹³), Klein & Jenkins (2011) constataram aumento na quantidade de isômeros trans 18:1 das 0 às 48 horas, não sendo encontrado C¹³ nos isômeros em qualquer momento. Em um segundo experimento com suplementações de 1, 2, e 3% de DHA, os mesmos autores confirmaram o aumento de isômeros trans 18:1 de 185, 256 e 272%, respectivamente, das 0 às 48 horas. Como no experimento 1, não ocorreu síntese de qualquer isômero trans 18:1 a partir de DHA, mostrando que os ácidos graxos trans 18:1 não são produzidos a partir de DHA e que o DHA eleva a síntese de trans C18:1 ao modificar as vias de biohidrogenação de outros ácidos graxos poliinsaturados.

Ao avaliarem o efeito da adição dos ácidos DHA e EPA a uma mistura de ácido linoleico e linolênico sobre sua biohidrogenação, em fluido ruminal *in vitro*, Castillo et al. (2012) reportaram diminuição na concentração relativa de linoleico e linolênico ao longo do período de incubação. A adição de EPA e DHA puros ou em misturas diminuiu a concentração relativa de 18:0, incrementando a presença do 18:1 t11 e 18:2 t11 c15.

2.5 Produção de metano

O aquecimento global é importante tema de discussão mundial, sugerindo a mitigação da produção de metano e seus efeitos ao meio ambiente. Os animais ruminantes por serem importantes contribuintes deste fenômeno, vem sendo comumente alvo de críticas. Uma estratégia para reduzir a produção de metano ruminal é proporcionar aceitadores alternativos de hidrogênio que atuem como dreno, consumindo eficazmente estes átomos que são produzidos durante a fermentação, de forma a redirecioná-los, diminuindo seu uso junto ao dióxido de carbono na síntese de metano (ANDERSON & RASMUSSEN, 1998; SAR et al., 2004, 2005).

Adicionalmente, os ácidos graxos láurico e DHA parecem ter a capacidade de reduzir a produção de metano em ruminantes. Segundo Božic et al. (2009), o

primeiro reduz a síntese de metano em até 89% e 76% em ensaios *in vitro* e *in vivo* respectivamente, no entanto o ácido graxo poliinsaturado oriundo de algas marinhas pode atingir redução de até 97% em ensaios *in vitro*. Nesse sentido, ácidos graxos de cadeia média e longa poderão inibir o crescimento de bactérias gram-positivas e metanogênicas ao serem absorvidos, ocasionando a ruptura das membranas celulares.

A utilização de algas marinhas na alimentação de ovinos é uma alternativa promissora, pois se tratando de uma fonte de ácidos graxos poliinsaturados, poderia gerar efeitos positivos na fermentação ruminal, diminuindo as perdas energéticas da produção de gás metano no processo fermentativo, assim como o impacto causado por este no meio ambiente (PAPADOPOULUS et al., 2002; BOECKAERT et al., 2008 e BOŽIC et al., 2009). Ao avaliarem a produção de metano em culturas *in vitro* contendo algas marinhas *Chaetoceros* aos teores de 1,5, 5 e 10 mg/mL de cultura, Božic et al. (2009) reportaram diminuição na produção de metano de 21,26 $\mu\text{mol/mL}$ na cultura padrão para 0,81 $\mu\text{mol/mL}$ quando comparado o tratamento controle com o maior teor na adição de algas.

3. Objetivo gerais

Objetivou-se avaliar consumo alimentar, produção de calor e parâmetros ruminais em ovinos da raça Santa Inês recebendo tratamento controle (sem inclusão de farinha de algas marinhas) e com inclusão de 2 e 4% de farinha de algas marinhas *Schizochytrium sp.* em substituição ao milho em grão moído, assim como a digestibilidade e produção de gases *in vitro* dos tratamentos.

4. Referências

ALVARENGA, T.I.R.C.; CHEN, Y.; FURUSHO-GARCIA, I.F.; PEREZ, J.R.O.; HOPKINS, D.L. Manipulation of omega-3 PUFA in lambs: phenotypic and genotypic views. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, n. 3, p. 189-204, 2015.

ANDERSON, R.C.; RASMUSSEN, M.A. Use of a novel nitritoxin-metabolizing bacterium to reduce ruminal methane production. **Bioresource Technology**, v. 64, n. 2, p. 89-95, 1998.

BELANCHE, A.; RAMOS-MORALES, E.; NEWBOLD, C. J. In vitro screening of natural feed additives from crustaceans, diatoms, seaweeds and plant extracts to manipulate rumen fermentation. **Journal of Science of Food and Agriculture**, London, v. 96, p. 3069–3078, 2016.

BICHI, E.; FRUTOS, P.; TORAL, P.G.; KEISLER, D.; HERVÁS, G.; LOOR, J.J. Dietary marine algae and its influence on tissue gene network expression during milk fat depression in dairy ewes. **Animal Feed Science and Technology**, v. 186, p. 36–44, 2013.

BICHI, E.; HERVÁS, G.; TORAL, P.G.; LOOR, J.J.; FRUTOS, P. Milk fat depression induced by dietary marine algae in dairy ewes: persistency of milk fatty acid composition and animal performance responses. **Journal of Dairy Science**, v. 96, p. 524–532, 2013.

BOECKAERT, C.; MESTDAGH, J.; VLAEMINCK, B.; CLAYTON, D.; FIEVEZ, V. Micro-algae as potent rumen methane inhibitors and modifiers of rumen lipolysis and biohydrogenation of linoleic and linolenic acid. **International Congress Series**, v.1293, p.184-188, 2006.

BOECKAERT, C.; VLAEMINCK, B.; MESTDAGH, J.; FIEVEZ, V. In vitro examination of DHA-edible micro algae: 1. Effect on rumen lipolysis and biohydrogenation of linoleic and linolenic acids. **Animal Feed Science and Technology**, v.136, p.63–79, 2007.

BOECKAERT, C.; VLAEMINCK, B.; DIJKSTRA, J.; ISSA-ZACHARIA, A.; VAN NESPEN, T.; VAN STRAALLEN, W.; FIEVEZ, V. Effect of dietary starch or microalgae supplementation on rumen fermentation and milk fatty acid composition of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.91, p.4714–4727, 2008.

BOŽIC, A.; ANDERSON, R.; CARSTENS, G.; RICKE, S.; CALLAWAY, T.; YOKOYAMA, M.; WANG, J.; NISBET, D. Effects of the methane-inhibitors nitrate, nitroethane, lauric acid, Lauricidin (R) and the Hawaiian marine algae *Chaetoceros* on ruminal fermentation in vitro. **Bioresource Technology**, v.100, p.4017–4025, 2009.

CASTILLO, J. A.; OLIVERA, M.; PABÓN, M. L.; CARULLA, J. E. Reduction of the biohydrogenation of linoleic and alpha-linolenic acid by addition of different proportions of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid. **Revista Colombiana de Química**, v. 41(3), p. 395-408, 2012.

CASTRO BULLE, F.C.; PAULINO, P.V.; SANCHES, A.C.; SAINZ, R.D. Growth, carcass quality, and protein and energy metabolism in beef cattle with different growth potentials and residual feed intakes. **Journal of Animal Science**. v. 85, p. 928–936, 2007.

CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae. **Biotechnology Advances**, v. 25, p. 294–306, 2007.

CLARK, J. H.; KLUSMEYER, T. H.; CAMERON, M. R. Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, New York, v.75, n.8, p.2304-2323, 1992.

DÍAZ, M.T.; PÉREZ, C.; SÁNCHEZ, C.I.; LAUZURICA, S.; CAÑEQUE, V.; GONZÁLEZ, C.; DE LA FUENTE, J. Feeding microalgae increases omega 3 fatty acids of fat deposits and muscles in light lambs. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.56, p. 115-123, 2017.

DUBOIS, B.; TOMKINS, N.W.; KINLEY, R.D.; BAI, M.; SEYMOUR, S.; PAUL, N.A.; DE NYS, R. Effect of Tropical Algae as Additives on Rumen *in Vitro* Gas Production and Fermentation Characteristics. **American Journal of Plant Sciences**, v.4, p 34-43, 2013.

EK, J.R.; BELL, E.F.; NELSON, R.A.; RADHI, M.A. Infrared thermographic calorimetry applied to preterm infants under radiant warmers. **Journal of Thermal Biology**, v. 24, p. 97–103, 1999.

FERREIRA, E.M.; PIRES, A.V.; SUSIN, I.; GENTIL, R.S., PARENTE; M.O.M.; NOLLI, C.P.; MENEGHINI, R.C.M.; MENDES, C.Q.; RIBEIRO, C.V.D.M. Growth, feed intake, carcass characteristics, and meat fatty acid profile of lambs fed soybean oil partially replaced by fish oil blend. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 187, p. 9-18, 2014.

FONTANA, J. D. O Duelo soja versus micro-algas no biodiesel brasileiro e internacional. 2011. Disponível em < <http://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/convidado/duelo-soja-versus-micro-algas-biodiesel-brasileiro-internacional-260111.htm>> Acesso em: 14 abr. 2015.

FRANCE, J.; SIDONS, R.C. Volatile fatty acids productions In: FORBES, J.M.; FRANCE, J. (Eds.) **QUANTITATIVE ASPECTS OF RUMINAL DIGESTION AND METABOLISM**. Cambridge, UK: University Press. p.107-121, 1993.

GARCÍA, M. D. C. C. Producción de microalgas con aplicaciones nutricionales para humanos y animales. **Cuadernos de estudios agroalimentarios**, p. 87-105, 2013.

GATTO, M.; GIANESELLA, M.; MORGANTE, M. Applicazione della termografia nella diagnosi di acidosi ruminale subacuta della vacca da latte. **Large Animal Review**, v. 16, p. 7 – 12, 2010.

HARUN, R.; SINGH, M.; FORDE, G.M.; DANQUAH, M.K. Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 3, p. 1037–1047, 2010.

HARDY, J.D.; DU BOIS, E.F. The technique of measuring radiation and convection. **The Journal of Nutrition**, v. 15, p. 461–475, 1938.

ÍTAVO, L. C. V.; SANTOS, G. T.; JOBIM, C. C.; VOLTOLINI, T. V.; FERREIRA, C. C. Avaliação da silagem de bagaço de laranja com diferentes aditivos por intermédio dos parâmetros de fermentação ruminal de ovinos e contribuição energética dos ácidos graxos voláteis. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, p. 1491-1497, 2000.

KLEIN, C.M. & JENKINS, T. C. Docosahexaenoic acid elevates *trans*-18:1 isomers but is not directly converted into *trans* 18:1 isomers in ruminal batch cultures. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 94, n. 9, p. 4676–4683, 2011.

KLOP, G.; BANNINK, A.; DIEHO, K.; GERRITS, W.J.J.; DIJKSTRA, J. Using diurnal patterns of ¹³C enrichment of CO₂ to evaluate the effects of nitrate and docosahexaenoic acid on fiber degradation in the rumen of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 99, n. 9, p. 1–5, 2016a.

KLOP, G.; HATEW, B.; BANNINK, A.; DIJKSTRA, J. Feeding nitrate and docosahexaenoic acid affects enteric methane production and milk fatty acid composition in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**. Champaign, v. 99, n. 2, p. 1-12, 2016b.

MACHADO, L.; MAGNUSSON, M.; PAUL, N.A.; DE NYS, R.; TOMKINS, N. Effects of marine and freshwater macroalgae on In Vitro total gas and methane production. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 9, n. 1, p.e85289, 2014.

MAIA, M.R.G.; FONSECA, J.M.A.; OLIVEIRA, H.M.; MENDOÇA, C.; CABRITA, R.J.A. The Potential Role of Seaweeds in the Natural Manipulation of Rumen Fermentation and Methane Production. **Scientific Reports**, London, v. 6, n. 32321, p. 1-10, 2016.

MAKKAR, H.P.S.; TRAN, G.; HEUZÉ, V.; GIGER-REVERDIN, S.; LESSIRE, M.; LEBAS, F.; ANKERS, P. Seaweeds for livestock diets: A review. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 212, p. 1–17, 2016.

MEALE, S. J.; CHAVES, A. V.; HE, M. L.; MCALLISTER, T. A. Dose-response of supplementing marine algae (*Schizochytrium sp.*) on production performance, fatty acid profiles and wool parameters of growing lambs. **Journal of Animal Science**, v. 92, p. 2202–2213, 2014.

MENEZES, R. S.; LELES, M. I. G.; SOARES, A. T.; FRANCO P. I. B. M.; ANTONIOSI FILHO N. R.; SANT'ANNA, C. L.; VIEIRA, A. A. H. Avaliação da potencialidade de microalgas dulcícolas como fonte de matéria-prima graxa para a produção de biodiesel. **Química Nova**, v. 36, p. 10-15, 2013.

MERTENS, D.R. Regulation of forage intake. In: Forage quality, evaluation and utilization. FAHEY JR. (Ed.). Madison: American Society of Agronomy, p.450-493, 1994.

MONTANHOLI, Y.R.; SWANSON, K.C.; MILLER, S.P.; PALME, R.; SCHENKEL, F.S. Relationships between residual feed intake and infrared thermography and glucocorticoid levels in feedlot steers from three different sire breeds. In: PROCEEDINGS OF THE CANADIAN NUTRITION CONGRESS, Winnipeg, MB, Canada, p. 36, 2007.

MONTANHOLI, Y.R.; ODONGO, N.E.; SWANSON, K.C.; SCHENKEL, F.S.; MCBRIDE, B.W.; MILLER, S.P. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). **Journal of Thermal Biology**, v. 33, p. 468 – 475, 2008.

NAGARAJA, T. G.; NEWBOLD, C. J.; VAN NEVEL, C. J.; DEMEYER, D. I. Manipulation of ruminal fermentation. In: HOBSON, P. N. (Ed.) **The Rumen Microbial Ecosystem**. Chapman & Hall, 1997, p. 523-632, 1997.

NKRUMAH, J.D.; OKINE, E.K.; MATHISON, G.W.; SCHMID, K.; LI, C.; BASARAB, J.A.; PRICE, M.A.; WANG, Z.; MOORE, S.S. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 84, p. 145–153, 2006.

PAPADOPOULOS, G.; GOULAS, C.; APOSTOLAKI, E.; ABRIL, R. Effects of dietary supplements of algae, containing polyunsaturated fatty acids, on milk yield and the composition of milk products in dairy ewes. **Journal of Dairy Research**, v. 69, p. 357–365, 2002.

PEREIRA, C. M. P.; HOBUSS, C. B.; MACIEL, J. V.; FERREIRA, L. R.; DEL PINO, F. B.; MESKO, M. F.; JACOB-LOPES, E.; NETO, P. C. Biodiesel renovável derivado de microalgas: avanços e perspectivas tecnológicas. **Química Nova**, v. 35, n. 10, p. 2013-2018, 2012.

PHILLIPS, P.K.; SANBORN, A.F. An infrared, thermographic study of the surface temperature in three ratites: ostrich, emu and double-wattled cassowary. **Journal of Thermal Biology**, v. 19, p. 423–430, 1994.

RUSSELL, J. B.; O'CONNOR, J. D.; FOX, D. G.; SNIFFEN, C. J.; VAN SOEST, P. J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, n. 11, p. 3551-3561, 1992.

SAR, C.; SANTOSO, B.; MWENYA, B.; GAMO, Y.; KOBAYASHI, T.; MORIKAWA, R.; KIMURA, K.; MIZUKOSHI, H.; TAKAJASHI, J. Manipulation of rumen methanogenesis by the combination of nitrate with β 1-4 galacto-oligosaccharides or nisin in sheep. **Animal Feed Science and Technology**, v.115, v. 1-2, p. 129–142, 2004.

SAR, C.; MWENYA, B.; PEN, B.; MORIKAWA, R.; TAKAURA, K.; KOBAYASHI, T.; TAKAJASHI, J. Effect of nisin on ruminal methane production and nitrate/nitrite reduction in vitro. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 56, p. 803-810, 2005.

SCHAEFER, A.L.; BASARAB, J.; SCOTT, S.; COLYN, J.; MCCARTNEY, D.; MCKINNON, J.; OKINE, E.; TONG, A.K.W. The relationship between infrared thermography and residual feed intake in cows. **Journal of Animal Science**, v. 83 (Suppl. 1/J), p. 263, 2005.

SILVA, D. A. V.; HOMEM JUNIOR, A. C.; EZEQUIEL, J. M. B. Sexo e fontes de lipídeos sobre os parâmetros sanguíneos de ovinos confinados. **Revista Brasileira de Medicina Veterinária**, v. 36, p 153-158, 2014.

STAMEY, J.A.; SHEPHERD, D.M.; DE VETH , M.J.; CORL, B.A. Use of algae or algal oil rich in n-3 fatty acids as a feed supplement for dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaing, v. 95, n. 9, p. 5269–5275, 2012.

TORAL, P. G.; HERVAS, G.; GOMEZ-CORTES, P.; FRUTOS, P.; JUAREZ, M.; DE LA FUENTE, M. A. Milk fatty acid profile and dairy sheep performance in response to diet supplementation with sunflower oil plus incremental levels of marine algae. **Journal of Dairy Science**, v. 93, p.1655–1667, 2010.

URRUTIA, O.; MENDIZABAL, J.A.; INSAUSTI, K.; SORET, B.; PURROY, A.; ARANA, A. Effects of Addition of Linseed and Marine Algae to the Diet on Adipose Tissue Development, Fatty Acid Profile, Lipogenic Gene Expression, and Meat Quality in Lambs. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 11, n. 6, p. 1-23, 2016.

VAHMANI, P.; FREDEEN, A.; GLOVER, K. Effect of supplementation with fish oil or microalgae on fatty acid composition of milk from cows managed in confinement or pasture systems. **Journal of Dairy Science**, v.96, p. 6660–6670, 2013.

VLAEMINCK, B., BRAECKMAN, T., FIEVEZ, V. Rumen metabolism of 22:6n-3 In Vitro is dependent on its concentration and inoculum size, but less dependent on substrate carbohydrate composition. **Lipids**, v. 49, n. 6, p. 517–525, 2014.

WANG, Y.; XU, Z.; BACH, S.J.; MCALLISTER, T.A. Effects of phlorotannins from *Ascophyllum nodosum* (brown seaweed) on in vitro ruminal digestion of mixed forage or barley grain. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 145, p. 375-395, 2008.

ZEOULA, L. M.; MICHELAN, A.C.; FREGADOLLI, F.L.; DAMASCENO, J.C.; PRADO, I.N.; FRIDRICH, D.; MORAIS, R.G. Combinações de fontes de nitrogênio e amido de alta e baixa degradabilidade ruminal avaliadas pela técnica in situ. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.20, n.3, p.325-332, 1998.

ZHAO, T.; MA, Y.; QU, Y.; LUO, H.; LIU, K.; ZUO, Z.; LU, X. Effect of dietary oil sources on fatty acid composition of ruminal digesta and populations of specific bacteria involved in hydrogenation of 18-carbon unsaturated fatty acid in finishing lambs. **Small Ruminant Research**, Amsterdam, v. 144, p. 126–134, 2016.

CAPÍTULO 2 – ALGAS MARINHAS *Schizochytrium sp.* NA ALIMENTAÇÃO DE OVINOS: PARÂMETROS RUMINAIS, DIGESTIBILIDADE E PRODUÇÃO DE GASES *IN VITRO*

RESUMO – Objetivou-se com este trabalho avaliar o consumo, parâmetros ruminais e produção de calor pela ingestão de alimento em carneiros Santa Inês confinados, recebendo tratamentos sem e com inclusão de 2 e 4% de farinha de algas marinhas *Schizochytrium sp.* em substituição ao grão de milho moído, assim como a digestibilidade e produção de gases *in vitro* das dietas. Foram utilizados 6 carneiros castrados com $55,6 \pm 5,2$ kg de peso corporal, providos de cânula ruminal e alojados em baias individuais. O delineamento experimental foi o quadrado latino duplo 3 x 3, tendo as dietas relação volumoso:concentrado 40:60, em que os tratamentos foram: controle D0, sem inclusão de farinha de algas marinhas; D2 e D4 contendo 2 e 4% de farinha de algas marinhas na matéria seca respectivamente, em substituição ao grão de milho moído. Cada período experimental teve duração de 21 dias com 14 dias de adaptação aos tratamentos e 7 dias de coleta. Os dados foram analisados por intermédio do Software R (versão 3.2.2), sendo as comparações das médias feitas pelo teste de Tukey a 5% de significância. A inclusão de farinha de algas marinhas nos teores 2 e 4% não afetou a produção de gases avaliada pela técnica *in vitro* ($P>0,05$) e a produção de calor avaliada por termografia infravermelha ($P>0,05$), quando comparadas com o tratamento controle. Os tratamentos avaliados foram semelhantes quanto à digestibilidade *in vitro* da matéria seca, dos nutrientes e parâmetros ruminais (pH e ácidos graxos de cadeia curta), e só diferiram ($P<0,05$) na digestibilidade da fibra em detergente neutro, carboidratos não fibrosos e na concentração de nitrogênio amoniacal no líquido ruminal. Houve diferença significativa ($P<0,05$) no consumo da matéria seca (1,14 para 0,86 kg/d), e dos nutrientes matéria orgânica (1,07 para 0,80 kg/d), carboidratos totais (0,86 para 0,64 kg/d), fibra em detergente neutro (0,38 para 0,31 kg/d), carboidratos não fibrosos (0,48 para 0,33 kg/d), proteína bruta (0,156 para 0,114 kg/d) e energia bruta (4,69 para 4,36 Mcal) entre os tratamentos D0 e D4 respectivamente. A inclusão da farinha de algas marinhas *Schizochytrium sp.* na dieta, em substituição ao grão de milho moído, não comprometeu os parâmetros ruminais e a produção de calor por ingestão de alimento, tampouco a produção de gases *in vitro*. Recomenda-se a utilização de farinha de algas marinhas na alimentação de carneiros Santa Inês confinados sob condições tropicais no teor de 2% sem afetar o consumo e digestibilidade *in vitro* das dietas. Trabalhos para avaliar desempenho, características da carcaça e da carne, assim como a farinha de algas marinhas como fonte de proteína são necessários.

Palavras-chave: ácidos graxos, fermentação ruminal, metabolismo, produção de calor, Santa Inês, termografia infravermelha

1. Introdução

A população mundial aumentará de 7,1 para 9,1 bilhões de pessoas até 2050, com 70% desta residindo em áreas urbanas (FAO, 2015). Com este comportamento no crescimento e na densidade demográfica, fica evidente a maior demanda por alimentos e necessidade de melhoria na eficiência produtiva do setor primário. O Brasil lidera o ranking dos 13 países com maior potencial para produção de alimentos no mundo para o ano 2050 (FAO, 2013).

Na pecuária, as tendências são de crescimento e as perspectivas para a ovino-caprinocultura são de elevação na produção de carne, de 13,9 milhões de toneladas em 2013 para 25 milhões em 2050, o que representa crescimento de 1,5% ao ano, superior ao previsto na bovinocultura de corte e suinocultura, que projetam crescimentos anuais de 1,2 e 0,8%, respectivamente, sendo superado apenas pela avicultura, que apresentará crescimento de 1,8% (FAO, 2013; FAOSTAT, 2017). As respostas para esse comportamento na demanda por carne ovina podem ser explicadas pela cultura de países como a Índia e outros similares, localizados no oriente médio, onde o baixo consumo de carnes bovina e suína são fatores que favorecem o interesse pela carne ovina. Isto obriga os produtores a serem mais eficientes na produção para satisfazer a crescente demanda do mercado global em termos de quantidade e qualidade, visando novas fontes de nutrientes para abastecer os modernos sistemas de produção animal.

Outro ponto de destaque para a produção ovina é a caracterização da sua carne como potencial “alimento funcional”, entendendo-se este como um alimento que, além de proporcionar nutrientes para o consumidor, provê vantagens significativas para sua saúde, devido ao seu conteúdo em ácidos graxos poliinsaturados (AGPi), os quais podem ser modulados pela dieta dos ruminantes. Os AGPi, principalmente da série n-3, são comprovadamente vitais para o desenvolvimento cerebral e da retina em crianças, mostrando evidências positivas na prevenção de cânceres, redução nos riscos de doenças coronarianas, diabetes tipo 2, Alzheimer e asma (GIVENS et al., 2008; SÓRIO, 2011 e GOMEZ CANDELA et al., 2011), o que fez com que este produto de origem animal tenha aumentado sua demanda nos últimos anos.

A adequada eleição e utilização de fontes suplementares de lipídios na alimentação dos ovinos pode aumentar a eficiência alimentar devido à maior concentração energética na dieta. Assim, fontes suplementares de lipídios

constituídas principalmente por AGPi também parecem diminuir a produção ruminal de metano (BOECKAERT et al., 2006; FIEVEZ et al., 2007; BOŽIC et al., 2009).

Embora os lipídios sejam nutrientes muito úteis na nutrição dos ruminantes pelo anteriormente exposto, há necessidade de se estudar os processos da sua digestão e metabolismo, com o objetivo de melhorar a eficiência do uso dos alimentos, aumentando ao máximo o aproveitamento destas fontes energéticas por parte dos ruminantes.

As microalgas marinhas são consideradas importante fonte de nutrientes, alternativas aos alimentos convencionais direcionados à nutrição animal, não competindo com as fontes tradicionais de alimentação dos humanos como soja e milho (FONTANA, 2011).

Trabalhos têm sido desenvolvidos com o intuito de avaliar os efeitos da inclusão de microalgas marinhas do gênero *Schizochytrium* como fonte de ácidos graxos poliinsaturados na dieta de ruminantes, sendo que a maioria dos estudos foram direcionados à nutrição de bovinos (HOSTENS et al., 2011; WULLEPIT et al., 2012; VAHMANI et al., 2013) e ovinos com aptidão leiteira (PAPADOPOULUS et al., 2002; TORAL et al., 2010; BICHI et al., 2013), sendo escassas pesquisas com ovinos de corte (MEALE et al., 2014; URRUTIA et al., 2016; DIAZ et al., 2017) e nenhuma reportada com ovinos de pelo em condições tropicais.

Desta forma, a utilização de farinha de algas marinhas *Schizochytrium sp.* como fonte de ácido graxo DHA (22:6 n-3) parece ser uma alternativa alimentar na nutrição de ruminantes, mas pouco se reporta aos efeitos desta sobre a produção de calor e parâmetros de fermentação ruminal em ovinos sob condições tropicais, tendo-se como hipótese que a inclusão em teores crescentes de algas marinhas na dieta de ovinos não resultaria em um ambiente hostil para a fermentação ruminal. Assim, o objetivo do estudo foi avaliar a inclusão de 2 e 4% de farinha de algas marinhas do gênero *Schizochytrium* ricas em DHA, em substituição ao milho grão moído, sobre o consumo alimentar, a produção de calor e os parâmetros de fermentação ruminal (pH, N-NH₃ e AGCC) de ovinos da raça Santa Inês confinados sob condições tropicais, assim como a digestibilidade e produção de gases *in vitro* dos tratamentos.

2. Material e Métodos

A pesquisa respeitou os princípios éticos da experimentação animal, adotados pelo Conselho Nacional de Controle e Experimentação Animal (CONCEA) e foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, FCAV, Unesp, sob protocolo nº 12883/15.

2.1. Local

O experimento foi conduzido nos meses de Novembro de 2015 a Janeiro de 2016 nas dependências da Unidade Animal de Estudos Digestivos e Metabólicos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, FCAV, Unesp, Jaboticabal, SP, localizada a 21°15'22" de latitude Sul e 48°18'58" de latitude Oeste, com altitude de 595 m. As análises químico-bromatológicas foram realizadas na Unidade Animal de Estudos Digestivos e Metabólicos e no Laboratório de Nutrição Animal e análise de alimentos - LANA, pertencente ao Departamento de Zootecnia deste câmpus universitário.

2.2. Dietas experimentais

A composição químico-bromatológica e perfil lipídico dos ingredientes se encontram na Tabela 1. As dietas experimentais foram formuladas para atender às exigências preconizadas pelo NRC (2006) para cordeiros desmamados, com ganho médio de peso de 300 g/dia e para serem isolipídicas e com semelhantes teores energéticos (Tabela 2). Em todos os tratamentos, a relação volumoso:concentrado foi 40:60, sendo silagem de milho a fonte de volumoso. O concentrado foi composto por milho em grão moído, farelo de soja, fosfato bicálcico, calcário calcítico, suplemento mineral e vitamínico, sem adição de farinha de algas marinhas e 1,72% de óleo bruto de palma (D0) na MS em substituição ao milho; ou com adição de 2% de farinha de algas marinhas e 0,87% de óleo bruto de palma (D2); ou com a adição 4% de farinha de algas marinhas sem adição de óleo bruto de palma (D4). O concentrado de cada tratamento foi preparado a cada 21 dias antes do início dos períodos experimentais, sendo que o óleo bruto de palma foi o único ingrediente adicionado e misturado manualmente no momento da alimentação dos animais, nas porcentagens anteriormente descritas.

Tabela 1. Composição químico-bromatológica e perfil lipídico dos ingredientes

Variável	Ingrediente				
	Silagem de milho	Milho em grão moído	Farelo de soja	Alga	Óleo de palma
Composição bromatológica ¹ , g/kg MS					
MS	319	890	880	958	1000
MO	962,2	986	932,4	952	1000
MM	37,8	14,0	67,6	48,0	-
PB	92,0	104,1	516,4	154,6	-
FDNcp	576,6	150,6	156	-	-
FDA	278,9	16,0	78,6	-	-
EE	26,7	53,4	13,7	466,4	1000
EM (Mcal/kg MS)	3,0	2,95	3,1	5,1	5,9
Perfil lipídico ² , g/kg MS					
14:0	-	-	-	10,1	12,5
16:0	5,1	2,9	-	255,1	410
18:0	-	3,8	2,5	8,4	50,0
18:1 c9	6,8	6,4	1,6	-	415
18:2 c9 c12	10,7	13,8	5,2	-	107,5
18:3 n3	1,2	-	-	-	-
22:6 n3	-	-	-	126,9	-
Total AGS	5,1	6,7	2,5	273,5	460
Total AGI	18,7	20,1	6,8	126,9	522,5

¹MS: Matéria seca; MO: Matéria orgânica; MM: Matéria mineral; PB: Proteína bruta; FDNcp: Fibra em detergente neutro corrigida para cinza e proteína; FDA: Fibra em detergente ácido; EE: Extrato etéreo; EM: Energia metabolizável (Calculada como ED*0,82; ED estimada como 80% da EB segundo NRC, (2006)); ²AGS: Soma ácidos graxos saturados; AGI: Soma ácidos graxos insaturados.

Tabela 2. Composição percentual dos ingredientes, químico-bromatológica e perfil lipídico das dietas experimentais

Composição	Dieta experimental ³		
	D0	D2	D4
Ingredientes, % MS			
Silagem de milho	40,0	40,0	40,0
Milho em grão moído	38,6	36,6	35,6
Farelo de soja	15,3	16,1	15,9
Fosfato bicálcico	0,7	0,7	0,7
Calcário calcítico	1,2	1,2	1,2
Suplementos mineral e vitamínico ¹	2,5	2,5	2,6
Óleo de palma	1,7	0,9	0
Farinha de algas	0	2,0	4,0
Composição bromatológica, % MS			
Matéria seca (MS)	52,0	52,0	52,0
Proteína bruta (PB) ²	15,6	16,1	16,2
PDR*	9,8	10,3	10,5
PNDR*	5,8	5,8	5,7
Extrato etéreo (EE) ²	5,1	5,1	5,1
Matéria mineral (MM) ²	4,9	5,1	5,2
Fibra detergente neutro (FDNcp) ²	35,4	31,1	30,9
Fibra detergente ácido (FDA) ²	13,2	13,0	13,0
Carboidratos não fibrosos **	39,0	42,7	42,6
Energia metabolizável (Mcal/kg) ⁵	2,9	2,9	2,9
Perfil lipídico, g/kg MS⁴			
C14:0	1,37	2,0	4,0
C16:0	214,4	207,7	204,1
C18:0	163,2	163,2	162,1
C18:1 c9	215,6	216,8	214,5
C18:2 c9 c12	95,5	95,3	94,3
C18:3 n3	336,1	336,1	336,1
C22:6 n3	0	0,1	0,3
Total AGS	379,1	372,9	370,1
Total AGI	647,2	648,5	645,2
Relação AGS/AGI	0,59	0,58	0,57

¹Níveis de garantia por kg do produto: cálcio 187g, cloro 90g, sódio 62g, magnésio 50g, fósforo 72g, enxofre 32g, zinco 1450mg, manganês 500mg, ferro 750mg, Flúor (Max) 720mg, cobre 80mg, iodo 70mg, selênio 8mg, cobalto 10mg e vitamina A 90.000 UI, vitamina D3 20.000 UI e vitamina E 300 UI; ²% da MS; ³D0: volumoso + concentrado; D2: volumoso + concentrado com 2% de farinha de algas na MS; D4: volumoso + concentrado com 4% de farinha de algas na MS; *estimados pelas tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos Valadares Filho et al. (2010). **estimadas com as equações propostas por Sniffen et al. (1992). ⁴AGS: Soma ácidos graxos saturados; AGI: Soma ácidos graxos insaturados. ⁵ Calculada como ED*0,82; ED estimada como 80% da EB segundo NRC, (2006).

Foram utilizados seis carneiros da raça Santa Inês com peso corporal de 55,6 ± 5,2 kg, castrados, dotados de cânula ruminal permanente de silicone (2” de diâmetro), distribuídos aleatoriamente em duplo quadrado latino 3x3, com três tratamentos (dietas) e três períodos experimentais. Cada período experimental teve

a duração de 21 dias, sendo os 14 primeiros de adaptação às dietas e os demais para coleta de amostras.

Os animais foram alojados em galpão coberto com baias individuais ripadas, com área aproximada de 2,5 m², dotadas de comedouros e bebedouros individuais. As dietas foram fornecidas como ração total, 50% às 07:00h e o restante às 17:00h, permitindo-se no máximo 5% de sobras. Durante os últimos 5 dias de cada período experimental, diariamente foram coletadas amostras da dieta fornecida e o total das sobras. Posteriormente estas amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 55° C por 72 horas. Após a secagem, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey (Thomas Scientific, Swedesboro, NJ, USA), com peneira de crivo de 1 mm e posteriormente misturadas para formar uma amostra composta por animal em cada período experimental.

As amostras foram analisadas quanto aos teores de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), matéria orgânica (MO) e extrato etéreo (EE), segundo AOAC (1995). A energia bruta foi determinada em bomba calorimétrica (IKA®, modelo 2000 Basic), automatizado. A determinação da PB foi pelo método de DUMAS (ETHERIDGE et al., 1998), baseada na liberação do N por combustão em alta temperatura em oxigênio puro no analisador de nitrogênio LECO (FP-258).

A fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp) e fibra em detergente ácido (FDA) foram determinadas utilizando as soluções propostas por Van Soest e Wine (1967) sendo as amostras aquecidas em autoclave (0,5 kgf/cm², 111 °C por 50 minutos), de acordo com o procedimento adaptado de Schofield e Pell (1992).

Os carboidratos não fibrosos (CNF) e carboidratos totais (CT) foram calculados segundo SNIFFEN et al. (1992).

2.3. Produção de calor avaliada por termografia infravermelha (TI)

Os animais foram submetidos à observação mediante câmera de TI (TM ThermaCAM SC2000; FLIR Systems, Inc., Wilsonville, OR, EUA) para avaliar o comportamento do incremento calórico após alimentação em um único dia posterior à fase de adaptação dos animais às dietas (15^o dia de cada período experimental), segundo metodologia adaptada de Montanholi et al. (2008). Temperatura ambiente e umidade relativa do ar foram registradas a cada 2 horas com auxílio de um sensor

de leitura digital. O valor de emissividade utilizado foi 0,98, segundo recomendação do fabricante.

As imagens foram tomadas de vários locais do corpo de cada animal: flanco esquerdo e direito, área ao redor dos olhos e área traseira dos pés dianteiros (Figura 1), a cada duas horas durante o período compreendido entre as 07:00h, justo antes da primeira alimentação, até as 17:00h, antes da segunda alimentação.

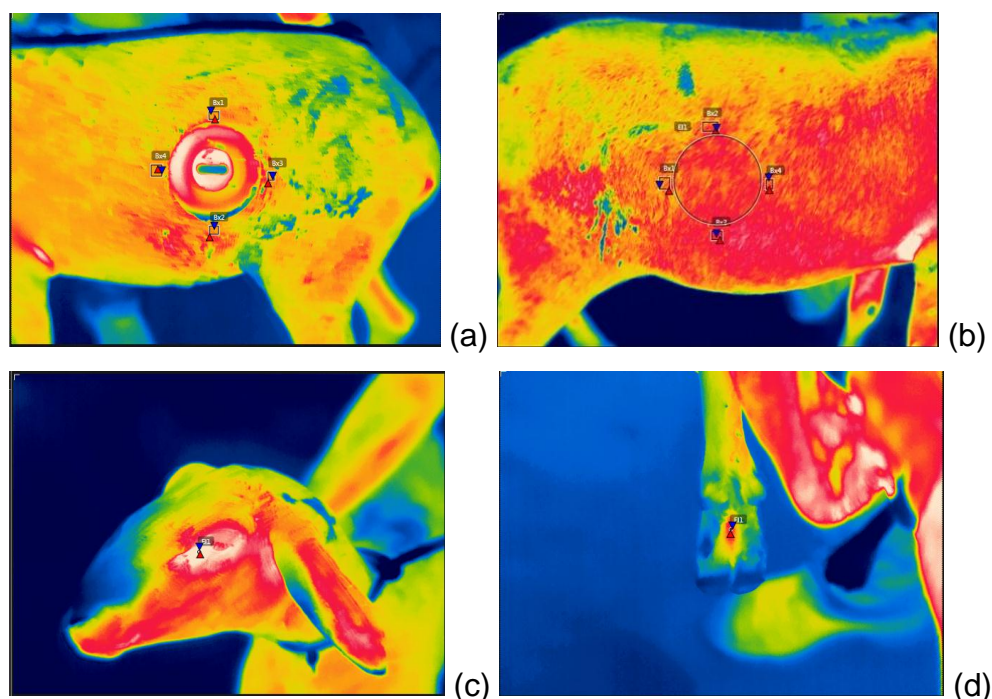


Figura 1. Imagens dos locais do corpo avaliados com TI em ovinos da raça Santa Inês recebendo tratamento controle e com inclusão de 2 e 4% de farinha de algas marinhas *Schizochitrium sp.* (a) Flanco esquerdo; (b) Flanco direito; (c) Área ao redor dos olhos (seio infra-orbital); (d) Área traseira do pé dianteiro.

A tomada de imagens foi realizada a um metro de distância de cada um dos locais do corpo avaliados, e duas fotos foram tomadas para selecionar a imagem com a melhor qualidade em termos de foco e precisão. Os dados foram interpretados usando o software ThermoCAM TM Pesquisador de 2001 (FLIR Systems AB, Danderyd, Suécia). Para cada um dos locais corporais avaliados, uma forma específica foi considerada a fim de manter uma subzona constante, tomando para análise estatística o valor da temperatura média e máxima de cada sub-região. Foram consideradas três variáveis auxiliares, duas médias da temperatura de todos os locais avaliados (Méd loc) e/ou apenas do flanco esquerdo e direito (Méd lat). A

terceira variável auxiliar apresenta o diferencial da temperatura entre os flancos esquerdo e direito (Dif lat). Para calcular as variáveis auxiliares foi tomado o valor da temperatura média de cada sub-regiões como explicado anteriormente.

2.4. Parâmetros ruminais

A amostragem de líquido ruminal para a determinação do pH, concentração de nitrogênio amoniacal (N-NH₃) e concentrações de AGCC foi realizada no 16º dia do período experimental, antes (0h) e às 2, 4, 6 e 8 horas após a alimentação matinal dos animais. Aproximadamente 120 mL de líquido ruminal foram colhidos, após filtragem do conteúdo ruminal em dupla camada de gaze, e destinados à imediata determinação do pH com peagômetro digital (Digimed DM-20; Digicrom Analítica Ltda, São Paulo, SP Brazil). Posteriormente, duas alíquotas de 2 mL foram utilizadas para determinar a concentração de N-NH₃ por meio de destilação com KOH 2N, de acordo com a técnica descrita por Vieira (1980), com uso de destilador micro-Kjeldhal. Outra alíquota de 50 mL de líquido ruminal foi armazenada a -15 °C para determinação da concentração dos ácidos graxos de cadeia curta (AGCC). Na determinação da concentração de AGCC, as amostras foram centrifugadas a 13.000 x g (4 °C) durante 30 min, e quantificados por cromatografia gasosa (GC Shimatzu modelo 20-10 com injeção automática; Shimatzu Corporation, Kyoto, Japão), com injeção automática, usando colunas capilares SP-2560 (100 m × 0,25 mm de diâmetro com 0,02 mm de espessura, Supelco, Bellefonte, PA, USA) (PALMIQUIST e CONRAD, 1971).

2.5. Produção total de gases

A produção total de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) foi estimada pela técnica *in vitro*, adaptada de Theodorou et al. (1994). No 17º dia de cada período experimental, foi colhido conteúdo ruminal três horas após a primeira alimentação, sendo este homogeneizado no Estomacher® 400 (Sewar and Co., London) durante 2 minutos a 200 rpm, para separação dos microrganismos aderidos à fração sólida. Após homogeneização, o conteúdo foi filtrado em dupla camada de gaze.

Posteriormente, uma amostra de 0,2 g de cada dieta foi pesada e colocada em frascos de vidro com capacidade para 60 mL junto com 20 mL de solução tampão de McDougall e 10 mL de líquido ruminal filtrado. Os frascos foram purgados

com CO₂, selados com tampa dotada de septo e mantidos em incubadora Shaker (SL 222, Solab, Piracicaba, SP, Brazil) com agitação constante a 80 rpm e 39 °C durante 24 horas. A produção de gases total foi medida logo após a incubação, utilizando-se medidor de pressão digital.

Ao final de cada ensaio, os frascos foram colocados em gelo para cessar a atividade microbiana, e amostras de 0,5 mL do gás produzido foram colhidas e analisadas quanto à concentração de CH₄ e CO₂, por cromatografia gasosa (Trace GC Ultra TM, Thermo Scientific, San Jose, CA USA) em equipamento com coluna de porapak. A temperatura do forno foi ajustada para 70 °C e a temperatura do injetor foi de 110 °C utilizando argônio como gás de arraste a 25 mL/min.

A conversão da pressão em volume de gás foi realizada utilizando a fórmula: $V_x = V_j \times P_{psi} \times 0,068$, em que: V_x = volume de gás a 39 °C, em mL; V_j = espaço entre a solução e a tampa de cada frasco, em mL; e P_{psi} = pressão cumulativa observada (THEODOROU et al., 1994).

Após o período de incubação de 24 horas, o pH final foi mensurado usando peagômetro digital (Digimed DM-20; Digicrom Analítica Ltda, São Paulo, SP Brazil), e os resíduos das amostras foram coados em saquinhos de náilon previamente pesados, posteriormente lavados três vezes com água corrente, secos em estufa (105 °C por 16 horas) e pesados em balança analítica para calcular por diferença de peso o desaparecimento da MS.

2.6. Digestibilidade *in vitro* da MS e dos nutrientes

A determinação da digestibilidade *in vitro* da MS e frações nutritivas das dietas foi determinada pela técnica de Holden (1999), no 18^o até o 21^o dia de cada período experimental. Amostras de cada um dos tratamentos foram moídas previamente em moinho tipo Wiley com peneira de crivo de 1,0 mm (Thomas Scientific, Swedesboro, NJ, USA), pesados 0,5 g e alocados em sacos filtrantes ANKOM[®] F57 e acondicionados em jarros de vidro (um jarro por animal), no fermentador *in vitro* DAISYII (ANKOM Technology Corp., Macedon, NY). Em cada jarro, foi adicionado 1332 mL de solução tampão A (KH₂PO₄ - 10,0, MgSO₄.7H₂O - 0,5 NaCl - 0,5, CaCl₂.2H₂O - 0,1, Ureia - 0,5, em g/L) e 266 mL de solução tampão B (Na₂CO₃ - 15,0, Na₂S.9H₂O - 1,0, em g/L), obtendo posteriormente pH final de 6,8 a 39 °C, ao purgar CO₂ dentro dos jarros no momento da incubação para manter o meio anaeróbio.

Após 30 minutos, foram adicionados 400 mL do líquido ruminal filtrado em dupla camada de gaze, obtido do conteúdo ruminal coletado dos animais experimentais três horas após a primeira alimentação, homogeneizado em Estomacher® 400 (Sewar and Co., London) durante 2 minutos a 200 rpm sem incorporação de CO₂, para separar os microrganismos aderidos à fração sólida. Cada jarro permaneceu na incubadora por 48 horas, aquecido a 39 °C e em agitação constante. Completando-se o tempo de incubação, adicionou-se a cada jarro 8 g de pepsina (1:10.000) e 40 mL de HCl 6N, mantendo-os aquecidos a 39 °C por mais 24 horas e então, os jarros foram drenados, os sacos lavados com água corrente e secos em estufa a 55 °C por 72 horas (HOLDEN, 1999). Posteriormente, os sacos foram pesados e seu conteúdo (resíduo da digestibilidade *in vitro*) dos sacos foram agrupados por jarro em uma amostra composta e analisados para MS, MM, MO, FDN, PB, EE, EB, CT e CNF para assim calcular a digestibilidade da MS e dos nutrientes de acordo com as equações abaixo:

$$\%DIVMS = ((100 - (P_2 - (P \times C))) / P_1) \times 100$$

$$\%DIVnutriente \text{ (base MS)} = ((100 - (N_1 - (P \times C_1))) / N) \times 100$$

Em que:

P = Tara do saco F57;

P1 = Peso da amostra;

P2 = Peso final do saco F57 + resíduo após incubação;

N = Peso equivalente ao nutriente (composição bromatológica da amostra);

N1 = Peso final do saco F57 + resíduo do nutriente após incubação (composição bromatológica do resíduo);

C = Correção do saco F57 branco (peso após incubação / peso antes da incubação);

2.7. Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com ajuda do Software R (versão 3.2.2) após prévia comprovação das pressuposições do modelo matemático (Teste de Shapiro-Wilk). Os dados de consumo foram analisados como quadrado latino duplo 3 × 3, com três tratamentos e três períodos experimentais, com efeito fixo do tratamento, e efeito aleatório do quadrado latino, período, animal e resíduos correspondentes ao modelo (erro do tratamento e do modelo).

O modelo matemático utilizado foi: $Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ijk}$ em que Y_{ijk} representa a observação no k -ésimo animal recebendo o i -ésimo tratamento no

j -ésimo período; α_i o efeito fixo do i -ésimo tratamento, com $i = 1, 2, \dots, n$, com $n = 3$; β_j o efeito aleatório do j -ésimo período, com $j = 1, 2, \dots, n$, com $n = 3$; e s_k o efeito aleatório do k -ésimo animal, com $k = 1, 2, \dots, n$, com $n = 3$.

Os dados de produção de calor e parâmetros de fermentação ruminal (pH, N-NH₃ e AGCC), foram analisados como quadrado latino duplo 3 × 3 com medidas repetidas no tempo. O modelo incluiu efeito fixo do i -ésimo tratamento, j -ésimo tempo e sua interação ($\alpha\beta_{ij}$). Animal e período foram considerados como efeito aleatório.

Nas análises de consumo de MS e nutrientes, digestibilidade e produção de gases *in vitro*, quando o resultado da ANOVA foi significativo, foi aplicado teste de Tukey para comparação das médias do tratamento. Nas análises de produção de calor e parâmetros de fermentação ruminal (pH, N-NH₃ e AGCC), quando o resultado da ANOVA foi significativo, foi aplicado teste de Tukey para comparação das médias do tratamento, tempo ou interação tratamento × tempo. Em todos os testes foi utilizado o nível de significância de 5%.

3. Resultados

A inclusão de farinha de algas marinhas nos tratamentos D2 e D4, não influenciou o consumo do extrato etéreo (EE), quando comparados com o tratamento D0. No entanto, o consumo de CMS, MO, CT, FDNcp, CNF, PB, e EB ($P < 0,05$) diminuiu significativamente com a inclusão de farinha de algas marinhas no teor de 4% quando comparado ao tratamento controle (Tabela 3).

Tabela 3. Consumo de MS e nutrientes em ovinos da raça Santa Inês recebendo tratamento controle ou com inclusão de 2 e 4% de farinha de algas marinhas *Schizochytrium sp.*

Consumo	Tratamento			EPM	p-valor Trat
	D0	D2	D4		
MS, kg/d	1,14 ^a	1,04 ^{ab}	0,86 ^b	0,065	0,017
MO, kg/d	1,07 ^a	0,96 ^{ab}	0,80 ^b	0,059	0,013
CT, kg/d	0,86 ^a	0,76 ^{ab}	0,64 ^b	0,045	0,008
FDNcp, kg/d	0,38 ^a	0,35 ^{ab}	0,31 ^b	0,020	0,046
CNF, kg/d	0,48 ^a	0,41 ^{ab}	0,33 ^b	0,031	0,005
PB, kg/d	0,157 ^a	0,159 ^a	0,121 ^b	0,011	0,024
EE, kg/d	0,048	0,041	0,049	0,005	0,967
EB, Mcal/kg	4,69 ^a	4,30 ^b	4,36 ^b	0,254	0,020

D0= sem adição de algas marinhas; D2= adição de 2% de algas marinhas, D4= adição de 4% de algas marinhas. EPM = erro padrão da média; MS = matéria seca; MO = matéria orgânica; FDNcp = fibra em detergente neutro; CNF = carboidratos não fibrosos; PB = proteína bruta; EE = extrato etéreo; EB = energia bruta; Valores seguidos com letras sobrescritas diferentes na mesma linha diferem ($p < 0,05$) pelo teste de Tuckey.

Não houve efeito do tratamento ou interação do tratamento e tempos de amostragem para os valores de temperatura da superfície corporal média e máxima dos animais (Tabela 4; $P>0,05$). No entanto, foi observado efeito do tempo para todas as variáveis avaliadas ($P<0,05$), exceto para variável Dif lat (diferença entre as laterais).

Tabela 4. Temperatura média e máxima ($^{\circ}\text{C}$) da superfície corporal avaliada por termografia infravermelha em ovinos Santa Inês recebendo tratamento controle ou com inclusão de 2 e 4% de farinha de algas marinhas *Schizochytrium sp.*

Variável	Tratamento			EPM	p-valor		
	D0	D2	D4		T	t	T*t
P máx	35,94	35,62	35,89	0,551	0,601	<0,001	0,097
P méd	35,50	35,43	35,70	0,603	0,560	<0,001	0,079
O máx	38,53	38,63	38,44	0,310	0,420	<0,001	0,089
O méd	38,37	38,44	38,27	0,303	0,445	<0,001	0,090
LE máx	35,62	35,91	35,89	0,442	0,249	<0,001	0,065
LE méd	34,90	35,33	35,12	0,442	0,139	0,003	0,085
LD máx	35,77	35,93	36,11	0,656	0,679	<0,001	0,100
LD méd	35,17	35,32	35,42	0,712	0,697	<0,001	0,100
Méd loc	35,99	36,13	36,14	0,382	0,832	<0,001	0,210
Méd lat	35,04	35,33	35,27	0,518	0,720	<0,001	0,280
Dif lat	1,13	1,18	1,05	0,409	0,970	0,145	0,819

D0= sem adição de algas marinhas; D2= adição de 2% de algas marinhas, D4= adição de 4% de algas marinhas. EPM = erro padrão da média; P máx = temperatura máxima da pata dianteira; P méd = temperatura média da pata dianteira; O máx = temperatura máxima do olho; O méd = temperatura média do olho; LE máx = temperatura máxima da lateral esquerda; LE méd = temperatura média da lateral esquerda; LD máx = temperatura máxima da lateral direita; LD méd = temperatura média da lateral direita; Méd loc = média de todos os locais avaliados; Méd lat = média das laterais; Dif lat = diferença entre as laterais; T = Tratamento; t = Tempo; Valores seguidos com letras sobrescritas diferentes na mesma linha diferem ($P<0,05$) pelo teste de Tuckey.

Houve interação de tratamento e tempos de coleta nos valores de pH ruminal e na concentração de nitrogênio amoniacal ($P<0,05$; Tabela 5). Assim, ovinos alimentados com o tratamento D0 tiveram menor pH ruminal duas horas após a alimentação, quando comparados aos alimentados com os tratamentos D2 e D4 (Figura 2; $P=0,019$).

Tabela 5. Parâmetros ruminiais em ovinos da raça Santa Inês recebendo tratamento controle ou com inclusão de 2 e 4% de farinha de algas marinhas *Schizochytrium sp.*

Variável	Tratamento			EPM	p-valor		
	D0	D2	D4		T	T	T*t
pH	6,21	6,28	6,22	0,11	0,08	0,053	0,019
N-NH ₃ , mg/dL	9,68	20,57	18,60	2,49	0,003	<0,001	0,011
AGCC, mmol/L	76,28	74,79	71,46	8,95	0,53	0,334	0,999
Acético, mmol/L	49,52	43,67	37,90	4,39	0,18	0,011	0,185
Propiônico, mmol/L	18,87	18,27	20,01	2,37	0,62	0,164	0,404
Butírico, mmol/L	7,63	8,52	6,59	0,09	0,20	0,042	0,272
Isobutírico, mmol/L	0,62	0,60	0,48	0,08	0,56	0,002	0,070
Valérico, mmol/L	1,01	1,09	1,10	0,14	0,83	0,343	0,549
Isovalérico, mmol/L	1,41	1,65	1,53	0,21	0,82	0,175	0,840
A:P	2,24	2,52	2,42	0,25	0,20	0,009	0,978

D0= sem adição de alga; D2= adição de 2% de algas marinhas, D4= adição de 4% de algas marinhas. T = efeito do tratamento; t = efeito do tempo; T*t = interação de tratamento e tempos de colheita; EPM = erro padrão da média; AGCC = total de ácidos graxos de cadeia curta; A:P = relação acético:propionico; Valores seguidos com letras sobrescritas diferentes na mesma linha diferem ($p < 0,05$) pelo teste de Tuckey.

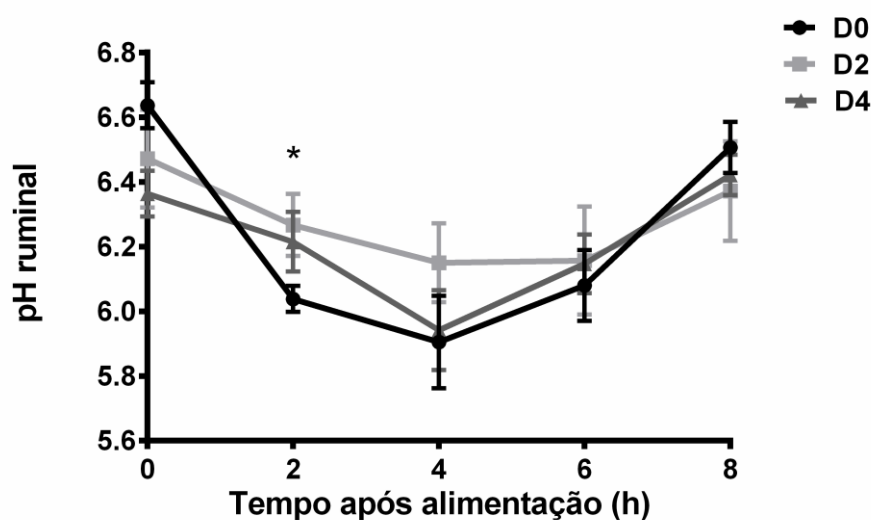


Figura 2. pH do fluido ruminal de ovinos da raça Santa Inês nos tempos de coleta avaliados, alimentados com tratamento controle ou com 2 e 4% de farinha de algas marinhas *Schizochytrium sp.* na dieta. *Interação do tratamento controle e o tempo 2h após a alimentação ($P = 0,042$).

Ovinos alimentados com o tratamento sem adição de farinha de algas marinhas tiveram menores concentrações de N-NH₃ no fluido ruminal em todos os tempos de coleta avaliados, quando comparados àqueles que receberam tratamento contendo farinha de algas marinhas como fonte de DHA nas concentrações de 2 e 4% (Figura 3; $P < 0,001$).

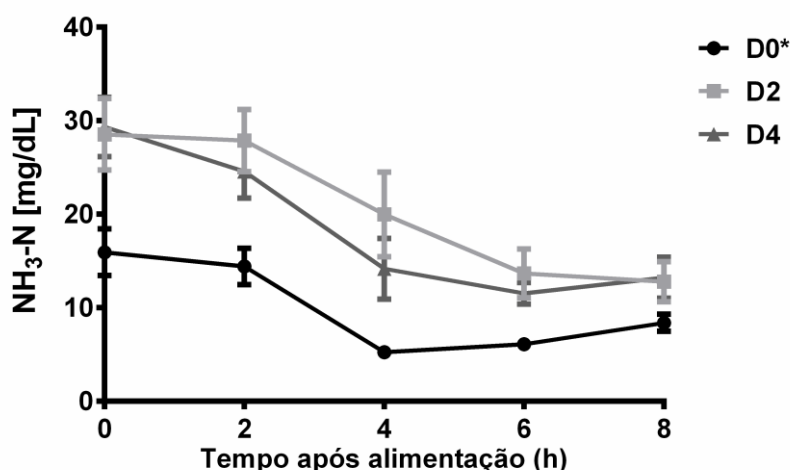


Figura 3. Concentrações de nitrogênio amoniacal (N-NH₃) no fluido ruminal de ovinos Santa Inês nos tempos de coleta avaliados, alimentados com tratamento controle ou tratamento com 2 e 4% de farinha de algas marinhas *Schizochytrium sp.* na dieta. *Interação do tratamento controle e todos os tempos de coleta avaliados (P=0,011).

A inclusão de algas marinhas na dieta de ovinos não influenciou a produção total de gases, pH e degradabilidade da matéria seca incubada (P>0,05; Tabela 6).

Tabela 6. Produção total de gases *in vitro* do tratamento controle ou tratamento com inclusão de 2 e 4% de farinha de algas marinhas *Schizochytrium sp*

Variável	Tratamento			EPM	p-valor Trat
	D0	D2	D4		
VT/g	213,99	185,67	234,63	58,463	0,459
CH ₄ /g	14,63	12,81	14,11	3,598	0,861
CO ₂ /g	128,46	109,21	142,43	31,237	0,311
VT/d	262,56	231,57	306,82	74,317	0,331
CH ₄ /d	15,54	16,15	18,41	4,225	0,964
CO ₂ /d	157,28	136,53	185,92	39,677	0,211
pH	6,15	6,21	6,14	0,066	0,181
DESMS %	80,78	79,54	78,91	1,857	0,258

D0= sem adição de algas marinhas; D2= adição de 2% de algas marinhas, D4= adição de 4% de algas marinhas. EPM =erro padrão da média; VT/g = volume total de gases produzidos (mL) por grama de matéria seca degradada; CH₄/g = volume de metano produzido (mL) por grama de matéria seca degradada; CO₂/g = volume de dióxido de carbono produzido (mL) por grama de matéria seca degradada; VT/d = volume total de gases produzidos (mL) durante 24h; CH₄/d = volume de metano produzido (mL) durante 24h; CO₂/d = volume de dióxido de carbono produzido (mL) durante 24h; DESMS = desaparecimento da matéria seca (%) após 24h de incubação. Valores seguidos com letras sobrescritas diferentes na mesma linha diferem (P<0,05) pelo teste de Tuckey.

A inclusão de farinha de algas marinhas na dieta de ovinos não influenciou as digestibilidades *in vitro* da MS, MO, CT, PB, EE e EB ($P>0,05$; Tabela 7). Entretanto, a digestibilidade *in vitro* dos carboidratos não fibrosos aumentou ($P=0,033$) com a inclusão de algas marinhas na dieta, sendo maior no tratamento D4 em relação aos demais. A digestibilidade *in vitro* do FDNcp teve diminuição significativa ($P=0,002$) com a inclusão de farinha de algas marinhas na dieta, sendo menor no tratamento D4 quando comparado ao tratamentos D0.

Tabela 7. Digestibilidade *in vitro* da MS e frações nutritivas do tratamento controle ou tratamento com inclusão de 2 e 4% de farinha de algas marinhas *Schizochytrium sp*

Variável	Tratamento			EPM	p-valor Trat
	D0	D2	D4		
MS, %	75,83	78,35	75,80	1,162	0,988
MO, %	76,69	79,21	77,39	1,170	0,931
CT, %	76,02	78,82	77,40	1,315	0,568
FDNcp, %	55,18 ^a	51,49 ^{ab}	47,38 ^b	1,340	0,002
CNF, %	97,17 ^b	97,80 ^b	99,43 ^a	0,749	0,033
PB, %	82,09	84,35	84,49	3,882	0,288
EE, %	69,99	68,49	63,92	3,450	0,269
EB, %	76,20	77,11	76,11	1,920	0,969

D0= sem adição de algas marinhas; D2= adição de 2% de algas marinhas, D4= adição de 4% de algas marinhas. EPM =erro padrão da média; MS = matéria seca; MO = matéria orgânica; FDNcp = fibra em detergente neutro; CNF = carboidratos não fibrosos; PB = proteína bruta; EE = extrato etéreo; EB = energia bruta. Valores seguidos com letras sobrescritas diferentes na mesma linha diferem ($p<0,05$) pelo teste de Tuckey.

4. Discussão

Neste estudo, foi avaliado o efeito da inclusão de diferentes níveis dietéticos de farinha de algas marinhas *Schizochytrium sp.* como fonte de DHA sobre o consumo de MS e nutrientes, parâmetros ruminais e produção de calor avaliada por TI em ovinos Santa Inês confinados, assim como a digestibilidade e produção de gases *in vitro* dos tratamentos. Foi observado que o maior teor de inclusão de farinha de algas marinhas reduziu o consumo de MS e aumentou as concentrações ruminais de N-NH₃, sem influenciar o pH, a concentração de AGCC e a produção de calor por ingestão de alimentos. Assim, a nossa hipótese que a inclusão de farinha de algas marinhas na dieta de ovinos Santa Inês não resultaria em um ambiente hostil para a fermentação ruminal, viabilizando a sua utilização na alimentação de ovinos em substituição ao milho, foi aceita.

4.1 Consumo de MS e nutrientes

A adição de algas marinhas na dieta refletiu na diminuição do consumo de matéria seca em ovinos Santa Inês, devido ao cheiro de peixe próprio da farinha de algas, o que pode diminuir a palatabilidade e aceitabilidade do alimento, limitando o consumo voluntário em ovinos (DIAZ et al., 2017). Neste estudo, a inclusão de algas marinhas *Schizochytrium sp.* nas dietas reduziu o consumo de MS até 24,56% na dieta com o maior teor (D4) quando comparado com a dieta controle. Similares resultados foram encontrados por Liu et al. (2011), Urrutia et al. (2016) e Diaz et al. (2017), usando teores de 0,5% de DHA puro, 3,89 e 2% de algas marinhas ricas em DHA, respectivamente, enquanto que Meale et al. (2014) usando suplementação de algas marinhas até 3% da matéria seca em cordeiros Arcott desmamados não obteve diferença significativa no consumo.

Por outro lado, a adição de lipídios acima de 5% nas dietas para ruminantes, podem resultar na redução da digestibilidade da fibra, ao formar uma cobertura de natureza hidrofóbica na partícula de alimento, impedindo a adesão dos microrganismos nesta, ou afetando diretamente a população de bactérias fibrolíticas, aumentando o tempo de retenção do alimento fibroso no rúmen com sensação de enchimento no animal, afetando negativamente o consumo (MANSO et al., 2006; OTARU et al., 2011).

O consumo das frações nutritivas teve diminuição no tratamento com maior inclusão de farinha de algas marinhas em resposta ao aumento do teor do ingrediente avaliado até 4%. Este comportamento obedece à redução no consumo de MS, sendo que isso tem como consequência diminuição de PB, MO, FDNcp, FDA e CNF ao estarem estas frações nutritivas contidas na MS (Tabela 2). O aumento observado no consumo de EB observado para a dieta controle está relacionado ao maior consumo de MS dos animais alimentados com esse tratamento.

4.2 Produção de calor avaliada por termografia infravermelha

A substituição de CNF da dieta por fontes lipídicas diminui as perdas por calor no rúmen, evitando transformação de energia da dieta a uma forma não disponível para o hospedeiro na fase fermentativa, fazendo com que estas se tornem mais eficientes no aporte de energia líquida para o animal (SILVA et al., 2014).

No entanto, ao avaliarmos mudanças de temperatura da superfície corporal usando TI como medida indireta da produção de calor decorrente da alimentação,

não houve diferença significativa ($P > 0,05$) com a inclusão de farinha de algas marinhas como fonte de DHA em ovinos Santa Inês. Isto pode ser explicado pela pouca diferença entre os teores de inclusão de farinha de algas marinhas em termos de substituição de amido por fontes lipídicas nos tratamentos, o que não teria afetado significativamente a produção de calor decorrente da fermentação ruminal. Além disso, apesar dos animais estarem alojados em baias cobertas por telas que minimizam os efeitos do ganho de calor por radiação solar direta, houve alterações na temperatura da superfície corporal dos animais influenciadas por mecanismos de transferência de calor como condução, convecção e ainda pela radiação solar refletida pelo solo, o que explica as variações da temperatura da superfície corporal dos animais ao longo do tempo de avaliação, as quais acompanharam notoriamente as mudanças de temperatura, umidade relativa e o aumento da intensidade da radiação solar direta nas horas mais quentes do dia ao longo do estudo.

Recomenda-se, então, que outros estudos sejam conduzidos em ambientes controlados, com o intuito de eliminar outras fontes de ganho de calor diferentes à fermentação ruminal para a avaliação de calor de fermentação por TI, possibilitando uma avaliação mais objetiva e que ofereça resultados mais acurados.

Por se tratar de um método de avaliação indireta, os locais avaliados tiveram valores de temperatura abaixo dos valores médios reais da temperatura ruminal, sendo o olho (representado pelas variáveis Om_{ax} e $Om_{éd}$; Tabela 4) o que teve valores mais acurados. Isto pode ser explicado pela proximidade anatômica do nervo ótico com o hipotálamo, estrutura que faz parte do eixo hipotálamo-pituitária-adrenal, encarregado da regulação térmica do organismo (JOHNSON et al., 2011). Além disso, o aporte sanguíneo aos globos oculares, conduzidos através de micro capilares, possuem uma temperatura mais próxima daquela do hipotálamo, sendo esta a medida de temperatura interna mais exata (McMANUS et al., 2016) o que poderia refletir em valores mais próximos da temperatura real do rúmen quando comparado com os outros locais de avaliação.

Apesar da avaliação de teores crescentes de algas marinhas *Schizochytrium* sp. na dieta de ovinos Santa Inês, ter resultado em menor consumo de matéria seca, o que poderia sugerir uma diminuição na produção de calor de fermentação ruminal, valores de pH, produção de metano e produção total de AGCC não tiveram diferença significativa, sendo que variações na produção de calor no rúmen estão altamente correlacionadas com mudanças nestes parâmetros. Este resultado poderia suportar

o fato das dietas não terem apresentado diferença significativa na produção de calor de fermentação na avaliação por TI, mesmo que outros mecanismos de transferência de calor do ambiente para o animal possam ter interferido na avaliação.

4.3. Parâmetros de fermentação ruminal

As maiores concentrações de N-NH₃ no líquido ruminal observadas com a inclusão crescente de algas marinhas, pode ser decorrente do alto teor de PB encontrado neste ingrediente (Tabela 1). Similares resultados foram observados por Božic et al. (2009), Machado et al. (2014) e Maia et al. (2016), enquanto que Wang et al. (2008) relataram resultados discrepantes. As algas marinhas além de serem fonte de lipídios, são importante fonte de PB (15,46% MS), porém sem FDN e FDA na sua composição (Tabela 1). A sua composição explica o aumento do teor de PB observado nas dietas com inclusão de alga. Isto sugere que, por não terem parede celular nem estarem ligadas a celulose, hemicelulose e lignina, a proteína das algas marinhas possui um perfil altamente solúvel (Frações proteicas B₂, B₃ e C inexistentes) (LANZAS et al., 2008).

Assim, a fração de proteína degradável no rúmen (PDR) é aumentada com a inclusão de algas marinhas nas dietas (Tabela 2). Por outro lado, a fonte mais importante de amido na dieta (milho) é reduzida com a inclusão de algas nas dietas, com isso, obteve-se uma assincronia durante a fermentação do alimento, decorrente do aumento nos níveis de PDR e a menor disponibilidade de energia fermentável no rúmen, resultando assim no acúmulo de N-NH₃ (PEREIRA et al., 2005).

Adicionalmente, a FDN como fonte secundária de energia no rúmen poderia ter visto afetada sua digestibilidade com a adição de lipídios à dieta (ABUBAKR et al., 2013), o que justificaria também o aumento da concentração de N-NH₃ no líquido ruminal, refletindo em uma menor taxa de incorporação deste pelos microrganismos fibrolíticos do rúmen.

Embora não tenham sido observadas diferenças significativas na diminuição das concentrações molares de ácido acético nos tratamentos avaliados, a redução no consumo de MS e o aumento na concentração ruminal de N-NH₃ estão estreitamente relacionados com a baixa fermentação dos CF e a tendência observada na diminuição das concentrações de acetato conforme o aumento no teor de farinha de algas marinhas nas dietas. Similares resultados foram observados por

Zhao et al. (2016), ao utilizarem 4% de óleo de peixe como fonte de ácidos graxos poli-insaturados para ovinos, em que a fermentação ruminal proporcionou aumento de ácido propiônico à custa da diminuição nas concentrações de ácido acético, sem alteração nas proporções molares de outros AGCC.

Dietas com inclusão de algas resultaram ineficientes no aproveitamento da maior quantidade de proteína, em ausência de fontes de energia fermentescível, salientando que na substituição de amido por lipídios na dieta, estes últimos são fonte energética para o hospedeiro, mas não para os microrganismos, gerando assim maiores concentrações de N-NH₃ no líquido ruminal.

4.4. Produção total de gases *in vitro*

Nenhuma das variáveis avaliadas na produção total de gases *in vitro* foram afetadas pela adição de farinha de algas marinhas como fonte de DHA nas dietas para ovinos. Uma das razões que pode ter influenciado este resultado é a semelhança na relação AGS/AGI entre os tratamentos avaliados, apesar da inclusão de algas marinhas como fonte de DHA (MAIA et al., 2016). Isto permite levantar a hipótese de que altas quantidades de AGS em mistura com AGI e poliinsaturados na dieta tem interação antagônica. Assim AGS teriam de atenuar o efeito mitigador de CH₄ do DHA como observado em outros estudos (MOATE et al., 2013; KLOP et al., 2016). Cabe salientar que a alga marinha *Schizochytrium sp.* utilizada neste estudo além de ter 27,7% de DHA no seu perfil lipídico, possui 54,2% de 16:0, que somado ao aporte de AGS do óleo bruto de palma e dos demais ingredientes da dieta (Tabela 1), acabariam por anular o efeito mitigador na produção de CH₄ do DHA como descrito anteriormente.

Nas incubações da avaliação de produção total de gases *in vitro*, a quantidade de alimento utilizado foi igual para todos os tratamentos (0,2 g de dieta), o que faz com que esses resultados não possam ser ligados para comparação com resultados do consumo alimentar deste ensaio. Segundo Lopes et al. (2015), a produção de gases é estreitamente dependente do desaparecimento da MS e do pH da incubação, parâmetros altamente correlacionados com a produção de CH₄ (VAN KESSEL & RUSSELL, 1996), neste sentido, a semelhança dessas variáveis foi refletida também na produção de gases das dietas, como observado neste estudo.

Neste experimento, as incubações para avaliar a produção de gases *in vitro* tiveram um máximo de concentração de DHA de 0,03 mg/mL de inóculo (tratamento

D4), o que poderia ter influenciado a baixa capacidade do DHA para atuar como mitigador na produção de CH₄, pois foi demonstrado que baixas concentrações de DHA (abaixo de 0,05 mg/mL de inóculo) permitem o metabolismo deste ácido graxo pelos microrganismos, sendo reduzido em sua maioria para 22:0 (ALDAI et al., 2012; VLAEMINCK et al., 2014; ESCOBAR et al., 2016), enquanto que valores superiores a 0,08 – 0,1 mg/mL de inóculo teriam efeitos de mitigação de CH₄ e outros parâmetros da fermentação *in vitro* (BOECKAERT et al., 2006). Contudo, os estudos anteriormente citados foram realizados com DHA puro em incubações *in vitro* ou com adição de algas marinhas com baixa quantidade de AGS no seu perfil lipídico, a diferença da alga utilizada no nosso estudo, rica em quantidades importantes de ácido graxo saturado palmítico 16:0.

4.5. Digestibilidade *in vitro* das dietas

Apesar da similaridade entre os tratamentos para a digestibilidade da MS e nutrientes (exceto FDN_{cp} e CNF), a digestibilidade da MS (75,8 até 78,3%) e da EB (76,1 até 77,1%) das dietas foram próximas aos 80% preconizados pelo NRC (2006) para ovinos alimentados com dieta contendo relação volumoso:concentrado 40:60. A digestibilidade da MO acompanhou de forma coerente a digestibilidade da MS.

Apesar de não ser observada diferença significativa na digestibilidade do EE dos tratamentos, foi observada uma tendência na redução da digestibilidade desta fração nutritiva, conforme inclusão de algas marinhas. Este comportamento pode ser explicado pelo fato dos microrganismos do rúmen não digerirem os lipídeos das dietas, o que impede a utilização destes como fonte energética para o seu metabolismo, pois suas membranas plasmáticas são constituídas maioritariamente por ácidos graxos saturados, compondo 90% do perfil de ácidos graxos dessa estrutura, sendo principalmente palmítico e esteárico (HARFOOT & HAZLEWOOD, 1997). As bactérias do rúmen conseguem sintetizar alguns dos ácidos graxos de cadeia longa a partir de açúcares, sendo incapazes de sintetizar ácidos graxos poliinsaturados, uma vez que a presença destes na membrana plasmática das bactérias não supera 5% (NAGARAJA et al., 1997). Neste sentido, surge a hipótese que havendo ácidos graxos no rúmen procedentes da dieta, os microrganismos poderiam incorporá-los às membranas plasmáticas com menor gasto energético em relação a síntese destes ácidos graxos a partir de açúcares, o que tornaria o processo mais eficiente. Assim, o maior conteúdo de DHA nos tratamentos com

inclusão de algas marinhas, pode ter resultado em maior teor de ácidos graxos poliinsaturados no resíduo do EE após a incubação.

A diminuição na digestibilidade do FDNcp das dietas pode ser explicada pela substituição do milho por adição de lipídios nas dietas, pois teores acima de 5% para ruminantes podem resultar na redução da digestibilidade da fibra, basicamente pelo efeito de cobertura de natureza hidrofóbica gerado na partícula de alimento e a ação tóxica dos lipídios sobre as bactérias fibrolíticas do rúmen (MOATE et al., 2013), o que reflete também na diminuição do consumo alimentar.

O aumento na digestibilidade dos CNF pode ser explicado pela substituição do milho pela inclusão de algas marinhas nos tratamentos, reduzindo o teor de amido da dieta, sendo que com a menor presença de substrato rico em amido no rúmen, os microrganismos amilolíticos se mostram mais eficientes no aproveitamento deste (ZINN et al., 2007). Assim, a inclusão de algas nos tratamentos exige uma maior fermentação de amido para o aproveitamento dos possíveis aumentos do nitrogênio amoniacal no rúmen (HALL & HEREJK, 2001), decorrentes do maior teor de PB no tratamento com maior conteúdo de PDR, basicamente pela ausência de proteína associada à fração fibrosa nas algas marinhas (LANZAS et al., 2008). Este fato também pode explicar a tendência no aumento dos valores de digestibilidade da PB com inclusão de algas marinhas, embora os dados não foram significativos estatisticamente.

5. Conclusão

A substituição de milho em grão moído por teores crescentes de farinha de algas marinhas nas dietas de ovinos Santa Inês em até 4% da MS reduziu o consumo alimentar dos animais sem prejudicar a digestibilidade da MS e nutrientes (exceto FDNcp), a produção de gases, a produção de calor e os parâmetros de fermentação ruminal (exceto N-NH₃). A inclusão de 2% de farinha de algas marinhas *Schizochytrium sp.* não prejudicou os parâmetros avaliados sendo portanto recomendada para a alimentação de ovinos confinados.

6. Referências

ABUBAKR, A.R.; ALIMON, A.R.; YAAKUB, H.; ABDULLAH, N.; IVAN, M. Digestibility, rumen protozoa, and ruminal fermentation in goats receiving dietary palm oil by-products. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 12, p. 147-154, 2013.

ALDAI, N.; HERVÁS, G.; BELENGUER, A.; FRUTOS, P.; MANTECÓN, A.R.; KRAMER, J.K.G. Evaluating the In Vitro Metabolism of Docosahexaenoic Acid in Sheep Rumen Fluid. **Lipids**. v. 47, p. 821–825, 2012.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis**, 16.ed. Washington: DC, 1995. 1011p.

BICHI, E.; FRUTOS, P.; TORAL, P.G.; KEISLER, D.; HERVÁS, G.; LOOR, J.J. Dietary marine algae and its influence on tissue gene network expression during milk fat depression in dairy ewes. **Animal Feed Science and Technology**, v. 186, p. 36–44, 2013.

BICHI, E.; HERVÁS, G.; TORAL, P.G.; LOOR, J.J.; FRUTOS, P. Milk fat depression induced by dietary marine algae in dairy ewes: persistency of milk fatty acid composition and animal performance responses. **Journal of Dairy Science**, v. 96, p. 524–532, 2013.

BOECKAERT, C.; MESTDAGH, J.; VLAEMINCK, B.; CLAYTON, D.; FIEVEZ, V. Micro-algae as potent rumen methane inhibitors and modifiers of rumen lypolysis and biohydrogenation of linoleic and linolenic acid. **International Congress Series**, v.1293, p.184-188, 2006.

BOŽIC, A.; ANDERSON, R.; CARSTENS, G.; RICKE, S.; CALLAWAY, T.; YOKOYAMA, M.; WANG, J.; NISBET, D. Effects of the methane-inhibitors nitrate, nitroethane, lauric acid, Lauricidin (R) and the Hawaiian marine algae *Chaetoceros* on ruminal fermentation in vitro. **Bioresource Technology**, v.100, p.4017–4025, 2009.

CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae. **Biotechnology Advances**, v. 25, p. 294–306, 2007.

DÍAZ, M.T.; PÉREZ, C.; SÁNCHEZ, C.I.; LAUZURICA, S.; CAÑEQUE, V.; GONZÁLEZ, C.; DE LA FUENTE, J. Feeding microalgae increases omega 3 fatty acids of fat deposits and muscles in light lambs. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.56, p. 115-123, 2017.

ESCOBAR, M.; VLAEMINCK, B.; JEYANATHAN, J.; THANH, L. P.; SHINGFIELD, K. J.; WALLACE, R. J.; FIEVEZ, V. Effect of adsorbants on in vitro biohydrogenation of 22:6n-3 by mixed cultures of rumen microorganisms. **Animal**, Cambridge, v. 10, n. 9, p. 1439–1447, 2016.

ETHERIDGE, R. D.; PESTI, G. M.; FOSTER, E. H. Comparison of nitrogen values obtained utilizing the Kjeldahl nitrogen and Dumas combustion methodologies (Leco CNS 2000) on sample typical of animal nutrition analytical laboratory. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.73, p.21-28, 1998.

FIEVEZ, V.; BOECKAERT, C.; VLAEMINCK, B.; MESTDAGH, J.; DEMEYER, D. *In vitro* examination of DHA-edible micro algae: 2. Effect on rumen methane production and apparent degradability of hay. **Animal Feed Science and Technology**, v. 136, p. 80–95, 2007.

FONTANA, J. D. O Duelo soja versus micro-algas no biodiesel brasileiro e internacional. 2011. Disponível em < <http://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/convidado/duelo-soja-versus-micro-algas-biodiesel-brasileiro-internacional-260111.htm>> Acesso em: 14 abr. 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, FAO. How to feed the world in 2050, 35 p., 2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - Statistics division; FAOSTAT Domains, FAO, 2017. Disponível em <<http://faostat3.fao.org/bro-wse/Q/QL/E>> Acesso em: 11 dec. 2017.

GIVENS, D. I.; GIBBS, R. A. Current intakes of EPA and DHA in European populations and the potential of animal-derived foods to increase them. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 67, p. 273–280, 2008.

GOMEZ CANDELA, C.; BERMEJO LOPEZ, L. M.; LORIA KOHEN, V. Importance of a balanced omega 6/omega 3 ratio for the maintenance of health: nutritional recommendations. **Nutrición Hospitalaria**, v. 26, n. 2, p. 323- 329, 2011.

HALL, M.B. & HEREJK, C. Differences in yields of microbial crude protein from in vitro fermentation of carbohydrates. **Journal of Dairy Science**, v. 84, p. 2486–2493, 2001.

HARFOOT, C. O.; HAZLEWOOD, O. P. Lipid metabolism in the rumen. In: HOBSON, P. N. (Ed.) **The Rumen Microbial Ecosystem**. Chapman & Hall, 1997, p. 382- 426.

HOLDEN, L. A. Comparison of methods of in vitro dry matter digestibility for ten feeds. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v.82, p. 1791–1794, 1999.

HOSTENS, M.; FIEVEZ, V.; VLAEMINCK, B.; BUYSE, J.; LEROY, J.; PIEPERS, S.; DE VliegHER, S.; OPSOMER, G. The effect of marine algae in the ration of high-yielding dairy cows during transition on metabolic parameters in serum and follicular fluid around parturition. **Journal of Dairy Science**, v. 94, p. 4603–4615, 2011.

HOMEM JUNIOR, A.C. **Fontes lipídicas na alimentação de ovinos confinados**. 2013. 56 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

JOHNSON, S.R.; RAO, S.; HUSSEY, S.B.; MORLEY, P.S.; TRAUB-DARGATZ, J.L. Thermographic eye temperature as an index to body temperature in Ponies. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 31, p. 63-66, 2011.

KLOP, G.; BANNINK, A.; DIEHO, K.; GERRITS, W.J.J.; DIJKSTRA, J. Using diurnal patterns of ¹³C enrichment of CO₂ to evaluate the effects of nitrate and docosahexaenoic acid on fiber degradation in the rumen of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaing, v. 99, n. 9, p. 1–5, 2016.

KLOP, G.; HATEW, B.; BANNINK, A.; DIJKSTRA, J. Feeding nitrate and docosahexaenoic acid affects enteric methane production and milk fatty acid composition in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**. Champaing, v. 99, n. 2, p. 1-12, 2016.

LANZAS, C.; BRODERICK, G.A.; FOX, D.G. Improved feed protein fractionation schemes for formulating rations with the Cornell Net Carbohydrate and Protein System. **Journal of Dairy Science**, v. 91, p. 4881 – 4891, 2008.

LIU, S. J.; BU, D. P.; WANG, J. Q.; SUN, P.; WEI, H. Y.; ZHOU, L. Y.; YU, Z. T. Effect of ruminal pulse dose of polyunsaturated fatty acids on ruminal microbial populations and duodenal flow and milk profiles of fatty acids. **Journal of Dairy Science**. Champaing, v. 94, n. 6, p. 2977– 2985, 2011.

LOPES, L.D.; LIMA, A.O.S.; TAKETANI, R.G.; DARIAS, P.; SILVA, L.R.F.; ROMAGNOLI, E.F.; LOUVANDINI, H.; ABDALLA, A.L.; MENDES, R. Exploring the sheep rumen microbiome for carbohydrate-active enzymes. **Antonie Van Leeuwenhoek**, v. 108, n. 1, p. 15-30, 2015.

MACHADO, L.; MAGNUSSON, M.; PAUL, N.A.; DE NYS, R.; TOMKINS, N. Effects of marine and freshwater macroalgae on In Vitro total gas and methane production. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 9, p.e85289, 2014.

MAIA, M.R.G.; FONSECA, J.M.A.; OLIVEIRA, H.M.; MENDOÇA, C.; CABRITA, R.J.A. The Potential Role of Seaweeds in the Natural Manipulation of Rumen Fermentation and Methane Production. **Scientific Reports**, London, v. 6, n. 32321, p. 1-10, 2016.

MANSO, T.; CASTRO, T.; MANTECÓN, A.R.; JIMENO, V. Effects of palm oil and calcium soaps of palm oil fatty acids in fattening diets on digestibility, performance and chemical body composition of lambs. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.127, p. 175–186, 2006.

McMANUS, C.; TANURE, C.B.; PERIPOLLI, V.; SEIXAS, L.; FISCHER, V.; GABBI, A.M.; MENEGASSI, S.R.O.; STUMPF, M.T.; KOLLING, G.J.; DIAS, E.; COSTA Jr, J.B.G. Infrared thermography in animal production: An overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 123, p. 10-16, 2016.

MEALE, S. J.; CHAVES, A. V.; HE, M. L.; MCALLISTER, T. A. Dose-response of supplementing marine algae (*Schizochytrium sp.*) on production performance, fatty acid profiles and wool parameters of growing lambs. **Journal of Animal Science**, v. 92, p. 2202–2213, 2014.

MOATE, P.J.; WILLIAMS, S.R.O.; HANNAH, M.C.; ECKARD, R.J.; AULDIST, M.J.; RIBAUX, B.E.; JACOBS, J.L.; WALES, W.J. Effects of feeding algal meal high in docosahexaenoic acid on feed intake, milk production, and methane emissions in dairy cows. **Journal of Dairy Sciences**, Savoy, v. 96, p. 3177-3188, 2013.

MONTANHOLI, Y.R.; SWANSON, K.C.; MILLER, S.P.; PALME, R.; SCHENKEL, F.S. Relationships between residual feed intake and infrared thermography and glucocorticoid levels in feedlot steers from three different sire breeds. In: PROCEEDINGS OF THE CANADIAN NUTRITION CONGRESS, Winnipeg, MB, Canada, p. 36, 2007.

MONTANHOLI, Y.R.; ODONGO, N.E.; SWANSON, K.C.; SCHENKEL, F.S.; MCBRIDE, B.W.; MILLER, S.P. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). **Journal of Thermal Biology**, v. 33, p. 468 – 475, 2008.

NAGARAJA, T. G.; NEWBOLD, C. J.; VAN NEVEL, C. J.; DEMEYER, D. I. Manipulation of ruminal fermentation. In: HOBSON, P. N. (Ed.) **The Rumen Microbial Ecosystem**. Chapman & Hall, 1997, p. 523-632, 1997.

NRC. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrients requirements of sheep**. Washington, DC: National Academies Press, 2006. 362 p.

OTARU, S.M.; ADAMU, A.M.; EHOCHÉ, O.W.; MAKUN, H.J. Effects of varying the level of palm oil on feed intake, milk yield and composition and postpartum weight changes of Red Sokoto goats. **Small Ruminant Research**, Amsterdam, v. 96, n. 1, p. 25–35, 2011.

PALMIQUIST, D.; CONRAD, H. Origin of plasma fatty acids in lactating cows fed high fat diets. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 74, p. 3152, 1971.

PAPADOPOULOS, G.; GOULAS, C.; APOSTOLAKI, E.; ABRIL, R. Effects of dietary supplements of algae, containing polyunsaturated fatty acids, on milk yield and the composition of milk products in dairy ewes. **Journal of Dairy Research**, v. 69, p. 357–365, 2002.

PEREIRA, E.S.; ARRUDA, A.M.V.; MIRANDA, L.F.; MIZUBUTI, I.Y.; MUNIZ, E.B.; PINTO, A.P. Importância da inter-relação carboidrato e proteína em dietas de ruminantes. **Revista Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 1, p. 125-134, 2005.

R version 3.2.2, The R Foundation for Statistical Computing, Austria.

SCHOFIELD, P.; PELL, A.N.; Measurement and kinetics analysis of the neutral detergent-soluble carbohydrate fraction of legume and grasses. **Journal of Animal Science**, v. 73, n. 11, p. 3455-3463, 1992.

SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; VAN SOEST, P.J.; FOX, D.J.; RUSSEL, J.B.; A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v. 70, n. 11, p. 3562-3577, 1992.

SÓRIO, A. Carne ovina: Importante Fonte de Ômega 3. **Associação brasileira de criadores de ovinos**, 2011.

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 ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 48, p. 185-197, 1994.

TORAL, P. G.; HERVAS, G.; GOMEZ-CORTES, P.; FRUTOS, P.; JUAREZ, M.; DE LA FUENTE, M. A. Milk fatty acid profile and dairy sheep performance in response to diet supplementation with sunflower oil plus incremental levels of marine algae. **Journal of Dairy Science**, v. 93, p.1655–1667, 2010.

URRUTIA, O.; MENDIZABAL, J.A.; INSAUSTI, K.; SORET, B.; PURROY, A.; ARANA, A. Effects of Addition of Linseed and Marine Algae to the Diet on Adipose Tissue Development, Fatty Acid Profile, Lipogenic Gene Expression, and Meat Quality in Lambs. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 11, n. 6, p. 1-23, 2016.

VAHMANI, P.; FREDEEN, A.; GLOVER, K. Effect of supplementation with fish oil or microalgae on fatty acid composition of milk from cows managed in confinement or pasture systems. **Journal of Dairy Science**, v.96, p. 6660–6670, 2013.

VAN KESSEL, J.S., RUSSELL, J.B. The effect of pH on ruminal methanogenesis. **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdam, v. 20, n. 4, p. 205-210, 1996.

VAN SOEST, P.J.; WINE, R.H.; Determination of lignin and cellulose in acid-detergent fiber with permanganate. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v. 51, p. 780-785, 1967.

VIEIRA, P. F. **Efeito do formaldeído na proteção de proteínas e lipídios em rações para ruminantes**. 98 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1980.

VLAEMINCK, B., BRAECKMAN, T., FIEVEZ, V. Rumen metabolism of 22:6n-3 In Vitro is dependent on its concentration and inoculum size, but less dependent on substrate carbohydrate composition. **Lipids**, v. 49, n. 6, p. 517–525, 2014.

WANG, Y.; XU, Z.; BACH, S.J.; McALLISTER, T.A. Effects of phlorotannins from *Ascophyllum nodosum* (brown seaweed) on in vitro ruminal digestion of mixed forage or barley grain. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 145, p. 375-395, 2008.

WULLEPIT, N.; HOSTENS, M.; GINNEBERGE, C.; FIEVEZ, V.; OPSOMER, G.; FREMAUT, D.; DE SMET, S. Influence of a marine algae supplementation on the oxidative status of plasma in dairy cows during the periparturient period. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 103, p. 298–303, 2012.

ZHAO, T.; MA, Y.; QU, Y.; LUO, H.; LIU, K.; ZUO, Z.; LU, X. Effect of dietary oil sources on fatty acid composition of ruminal digesta and populations of specific bacteria involved in hydrogenation of 18-carbon unsaturated fatty acid in finishing lambs. **Small Ruminant Research**, Amsterdam, v. 144, p. 126–134, 2016.

ZINN, R.A.; BARRERAS, A.; CORONA, L.; OWENS, F.N.; WARE, R.A. Starch digestion by feedlot cattle: Prediction from analysis of feed and fecal starch and nitrogen. **Journal of Animal Science**, New York, v. 85, p. 1727-1730, 2007.