Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Desempenho, metabolismo e emissão de metano de bovinos Nelore em terminação recebendo óleos funcionais em substituição ou combinação com monensina sódica na dieta

Lucas Jado Chagas

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2015

Lucas Jado Chagas
Zootecnista

Desempenho, metabolismo e emissão de metano de bovinos Nelore em terminação recebendo óleos funcionais em substituição ou combinação com monensina sódica na dieta

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **FLÁVIO AUGUSTO PORTELA SANTOS**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Chagas, Lucas Jado
Desempenho, metabolismo e emissão de metano de bovinos Nelore em terminação recebendo óleos funcionais em substituição ou combinação com monensina sódica na dieta / Lucas Jado Chagas. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2015.
134 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Óleos funcionais 2. Nelore 3. Adaptação 4. Confinamento I. Título

CDD 636.291
C433d

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

A Deus, pelo dom da vida e as graças de uma caminhada iluminada.

Aos meus pais Euripa da Luz Aparecida Chagas e Divaldo Jado Chagas, bem como todas as ramificações que cresceram desta união, que me permitiram tornar-me aquilo que sou e viver tudo pelo qual sou eternamente grato.

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP pela oportunidade e suporte.

Ao Prof. Dr. Flávio Augusto Portela Santos, pela orientação, confiança, amizade e por despertar e exercitar o meu interesse pelo ensino, pesquisa e extensão.

A todos os professores do Departamento de Zootecnia, em especial ao prof. Alexandre V. Pires, pelos ensinamentos, momentos de discussão, aprendizado e descontração.

À Professora e amiga Lilian Techio, Janaína Lima, Pedro Leopoldo, Vinícius Gouvea, Rodrigo Marques, João Dórea pelas reflexões e auxílio nas questões estatísticas do estudo... e claro, por ótimas conversas também.

Ao grande amigo e educador, pesquisador, conselheiro, empregador, humorista e etc. Alexandre Pedroso.

Ao parceiro de trabalho e jornada Marco Antonio... o Penati, que tantas portas profissionais abriu para minha humilde pessoa.

À minha amiga Daiani Donato por aturar todos os problemas que trazemos e facilitar nossas vidas dentro da universidade.

Ao Laureano e família, que sempre se apresentou com disposição e alegria em todas as manhãs Esalqueanas, além, é claro, pela ajuda na resolução de contratempos diversos.

A todos os integrantes do grupo Nutribov, Camila Delveaux, Diandra, Érika, Fernanda Batistel, Cristiane, Humberto, Jonas, Luiz, Murilos, pelas conversas, por vezes altamente filosóficas, pela ajuda nos trabalhos e por serem pessoas capazes de modificar os rumos da vida, também chamados de amigos.

Às Doutoras Amália Saturnino e Michele Lopes e sua equipe, em especial Natalia, pela colaboração científica, operacional e social durante o desenvolvimento dos trabalhos e a consolidação de grandes amizades.

Aos funcionários do Departamento de Zootecnia pela colaboração para realização desse trabalho. Em especial para Emerson e Juscelino, salvadores de tudo que se pode concertar na singela oficina do Depto. de Zootecnia. A Carlos César Alves, pela ajuda e paciência durante as análises laboratoriais. À Sandra V. Augusto pelo auxílio com a burocracia e descontração.

Às funcionárias da Biblioteca Eliana e Silvia, pela solicitude, paciência e belos sorrisos em um momento de tensão final com a adequação às normas para publicação.

Aos meus amados avós, Geralda e Nagib, pelo o apoio incondicional em todos os momentos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de estudo concedidas.

Às empresas Oligo Basics, Cargill, Fanton pelo apoio técnico e financeiro oferecido.

E a todos que diretamente e indiretamente contribuíram com a minha formação e condução dessa etapa de minha vida.

MUITO OBRIGADO

EPÍGRAFE

"Algo só é impossível

até que alguém duvide

ou prove o contrário"

Albert Einstein

SUMÁRIO

RESUMO.....11
ABSTRACT.....13
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....15
1 INTRODUÇÃO.....17
Referências.....19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....21
2.1 Confinamento no Brasil.....21
2.2 Utilização de aditivos alimentares em dietas para bovinos em terminação.....22
2.2.1 Uso de ionóforos na produção de bovinos.....24
2.2.2 Restrições ao uso de ionóforos.....25
2.2.3 Óleos Funcionais.....26
2.2.4 Modo de ação dos óleos funcionais.....27
2.2.5 Ação dos óleos funcionais na microbiota ruminal.....31
2.2.6 Óleos funcionais na alimentação de ruminantes.....34
2.3 Caracterização do produto (ESSENTIAL ®).....37
2.4 Considerações.....41
Referências.....42
3 DESEMPENHO E METABOLISMO RUMINAL DE BOVINOS NELORE EM TERMINAÇÃO RECEBENDO ÓLEOS FUNCIONAIS DE CAJU E MAMONA EM SUBSTITUIÇÃO OU COMBINAÇÃO COM MONENSINA SÓDICA EM DIETAS RICAS EM MILHO MOÍDO.....55
Resumo.....55
Abstract.....55
3.1 Introdução.....56
3.2 Material e Métodos.....58
3.2.1 Experimento de desempenho.....58
3.2.2 Experimento Metabólico.....62
3.2.3 Experimento de Produção de Gás *in vitro*.....69
3.3 Resultados e Discussão.....70
3.3.1 Experimento de Desempenho.....70
3.3.2 Experimento metabólico.....75
3.3.3 Ensaio de Produção de Gás “in vitro”.....82
3.4 Conclusões.....83

Referências..... 83

4 DESEMPENHO E METABOLISMO RUMINAL DE BOVINOS NELORE EM TERMINAÇÃO RECEBENDO ÓLEOS FUNCIONAIS DE CAJU E MAMONA EM SUBSTITUIÇÃO OU COMBINAÇÃO COM MONENSINA SÓDICA EM DIETAS RICAS EM COPRODUTOS..... 93

Resumo 93

Abstract..... 93

4.1 Introdução..... 94

4.2 Material e Métodos 96

4.2.1 Experimento de desempenho e características de carcaça..... 96

4.2.2 Experimento Metabólico 100

4.2.3 Experimento de Produção de Gás *in vitro* 106

4.3 Resultados e Discussão 107

4.3.1 Experimento de Desempenho 107

4.3.2 Experimento metabólico 113

4.3.3 Ensaio de Produção de Gás "*in vitro*" 121

4.4 Conclusões..... 123

Referências..... 123

5 CONSIDERAÇÕES GERAIS..... 132

Referências..... 133

RESUMO

Desempenho, metabolismo e emissão de metano de bovinos Nelore em terminação recebendo óleos funcionais em substituição ou combinação com monensina sódica na dieta

O surgimento de mercados consumidores cada vez mais exigentes quanto a segurança alimentar é uma realidade crescente. A proibição do uso de antibióticos promotores de crescimento, como a monensina, pela União Europeia é um indicativo disto. Em busca de alternativas aos antibióticos, intensificou-se na última década os trabalhos de pesquisa que visam explorar e desenvolver alternativas economicamente interessantes para a produção animal. Neste sentido, objetivou-se neste trabalho, avaliar o uso de princípios ativos extraídos dos óleos de caju e mamona como moduladores da fermentação ruminal alternativos à monensina sódica. Foram realizados seis experimentos. Um experimento de desempenho, com animais confinados a fim de mensurar o GPD, CMS, eficiência alimentar, características de carcaça. Outro experimento para avaliação de características metabólicas, com a avaliação de CMS, digestibilidade da MS, características da fermentação ruminal, consumo de oxigênio, produção de calor e de metano. Também foi realizado um experimento *in* vitro para a avaliação da produção de gás e tempo de colonização. Este conjunto de três experimentos foi realizado em uma a base de coprodutos e outra a base de milho moído. A dieta a base de coprodutos foi composta por 5% de bagaço de cana, 50 % de farelo úmido de glutem de milho, 43,5% de casca de soja, 1,5% de núcleo mineral, sendo avaliados os seguintes tratamentos: T1 – Controle, que consistiu em dieta base, sem aditivos; T2 – dieta base com adição de monensina sódica na dose de 25 mg/kg MS; T3 – dieta base com adição de Essential® na dose de 300 mg/kg MS e T4 – dieta base com adição de monensina sódica (25 mg/kg MS) e Essential® (300 mg/kg MS). A dieta a base de milho moído foi constituída de 12% de feno de tyfton, 80 % de milho moído, 4% de farelo de soja, 2,5% de núcleo mineral e 1,5% de uréia e foram avaliados os seguintes tratamentos: T1 – Controle, que consistiu em uma dieta base, sem aditivos; T2 – dieta base com adição de monensina sódica na dose de 30 mg/kg MS; T3 – dieta base com adição de Essential® na dose de 300 mg/kg MS; e T4 – dieta base com adição de Essential® na dose de 500 mg/kg MS. Para o experimento de metabolismo com a dieta a base de milho, foi utilizado bagaço de cana como volumoso e os tratamentos foram os os mesmos aplicados na dieta a base de coprodutos: Os tratamentos foram: T1 – Controle, que consistiu em dieta base, sem aditivos; T2 – dieta base com adição de monensina sódica na dose de 25 mg/kg MS; T3 – dieta base com adição de Essential® na dose de 300 mg/kg MS; e T4 – dieta base com adição de monensina sódica (25 mg/kg MS) e Essential® (300 mg/kg MS). A suplementação com OF melhora o desempenho de bovinos na fase inicial do confinamento em relação ao não uso de aditivos ou ao uso de monensina sódica, porém essa vantagem não se mantêm ao longo do período total de confinamento. Ao contrário do esperado, no presente estudo os aditivos testados não contribuíram para o aumento da eficiência de produção de bovinos em confinamento e para a redução do seu impacto ambiental.

Palavras-chave: Óleos essenciais; Caju; mamona; Adaptação

ABSTRACT

Performance, metabolism and methane emission of Nellore finishing cattle receiving diets containing functional oils in replacement or combination with monensin

The emergence of increasingly demanding consumer markets as food safety is a growing reality. The ban on antibiotic growth promoters such as monensin, by the European Union is indicative of this. Thus, research looking for alternatives to antibiotics, has been intensified in the last decade, with research works aimed at exploring and developing economically attractive alternative to animal production. In this sense. The aim of this study was to evaluate the use of active ingredients extracted from cashew oils and castor as modulators of ruminal fermentation alternative to monensin. Six experiments were carried out. A performance experiment with animals confined in order to measure the GPD, CMS, feed efficiency, carcass characteristics. Another experiment to evaluate metabolic characteristics with the assessment of CMS, digestibility, ruminal fermentation characteristics, oxygen consumption, heat and methane production. Also an in vitro experiment for evaluation of gas production and colonization time was conducted. This set of three experiments was carried out on two base diets, one with ground corn and other with byproducts. Ground corn basal diet consisted of 12% of tyfton hay, 80% of ground corn, 4% soybean meal, 2.5% mineral mixture and 1.5% urea. The treatments were: T1 - control, which consisted of basal diet, no additives; T2 - basal diet with addition of sodium monensina (30 mg / kg DM); T3 - basal diet added Essential® (300 mg / kg DM); and T4 - basal diet added Essential® (500 mg / kg DM). The bast dosis of functional oils were used in a second trial that used combination of functional oils and monensis. In the second trial was used a byproducts base diet comprised 5% of sugar cane bagasse, 50% of wet corn gluten feed, 43.5% of soybean hulls, 1.5% mineral mixture, being evaluated the following treatments: T1 - control, which consisted of basal diet without additives; T2 - basal diet with addition of sodium monensina (25 mg / kg DM); T3 - basal diet added Essential® (300 mg / kg DM); and T4 - basal diet with addition of sodium monensin (25 mg / kg DM) plus Essential® (300 mg / kg DM). For metabolism experiment with diet from corn was used bagasse as roughage and treatments were: T1 - control, which consisted of basal diet without additives; T2 - basal diet with addition of sodium monensina (25 mg / kg DM); T3 - basal diet added Essential® (300 mg / kg DM); and T4 - basal diet with addition of sodium monensin (25 mg / kg DM) plus Essential® (300 mg / kg DM). Functional oils supplementation improves performance of feedlot cattle during the initial phase with the non-use of additives or the use of monensina only. However , this advantage is not maintained over the total period of feedlot. In study, evaluated additives did not contribute to the increase feedlot cattle performance and to reduce their environmental impact.

Keywords: Essential oils; Cashew; Castor beans; Adaptation

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGV = ácido graxo volátil

AOL = área de olho de lombo

bat = batimento cardíaco

CB = composto bioativo

CMS = consumo de matéria seca

CMS/GPD = conversão alimentar

dL = decilitro

EE = extrato etéreo

Eg = energia para ganho

EGS = espessura de gordura subcutânea

EL = energia líquida

ELm = energia líquida de mantença

ELg = energia líquida de ganho

Em = energia para mantença

FC = Frequência cardíaca

FDA = fibra em detergente ácido

FDN = fibra em detergente neutro

g = grama

GPD = ganho de peso diário

GPD/CMS = eficiência alimentar

kJ = quilo joule

kcal = quilo caloria

Mcal = mega caloria

min = minuto

mL = mililitro

MM = matéria minetal

mm = milímetro

mmol = milimol

MO = matéria orgânica

MS = matéria seca

N = nitrogênio

N = normal

nm = nanômetro

OE = óleo essencial

OF = óleo funcional

O_2 = oxigênio

PB = proteína bruta

PCa = produção de calor

PCi = peso corporal inicial

PCf = peso corporal final

PCQ = peso de carcaça quente

$PC^{0,75}$ = Peso metabólico

ppm = partes por milhão

Pulse = volume de O_2/batimento cardíaco

PTF = produção total de fezes

RC = rendimento de carcaça

ref = refeição

rpm = rotações por minuto

UV = ultra violeta

µmol = micromol

α = alpha

°C = graus Célsius

1 INTRODUÇÃO

O termo óleos essenciais tem origem na característica aromática de alguns extratos de plantas. Estes compostos, também denominados de óleos voláteis, são substâncias aromáticas encontradas em estruturas vegetais como flores, folhas, frutos, raízes, caules, etc. Historicamente, a aplicação destes compostos abrange áreas diversas como a culinária, indústrias de alimentos e bebidas, cosméticos e medicamentos.

Em fisiologia vegetal, estas substâncias são denominadas compostos secundários. Esta classificação advém do fato de serem produzidos no organismo vegetal e apresentarem funções não diretamente relacionadas à nutrição (função primária) da planta. Estes compostos estão relacionados à atividade de interação da planta com o ambiente, como ação antiparasitária, funcionando como repelente (TRAPP; CROTEAU, 2001) ou matando agentes predadores (SANDBERG; BERENBAUM, 1989), substâncias atrativas para agentes polinizadores (KONDO et al., 1992), sustentação física da planta (HATFIELD; VERMERRIS, 2001), entre outras possíveis interações vegetal-ambiente. Outra denominação amplamente utilizada refere-se a estas substâncias como compostos bioativos (CB), geralmente ligada ao termo óleos essenciais (OE), sendo referidos pela sigla OECB, ou do inglês EOBC (*Essential Oils and their Bioactive Compounds*).

Por definição, óleo essencial é um composto obtido por prensagem, hidrodestilição, ou extração a vapor e que contém componentes voláteis (terpenos, ésteres, aldeídos), e que também apresenta ceras, pigmentos, flavonoides e outras substâncias não voláteis. Neste sentido, a definição de óleo essencial contempla o processo de extração das moléculas com atividade de interesse, sem que, no entanto, todas estas moléculas sejam originadas de componentes voláteis (GUNTHER, 1948). A composição química de um óleo essencial pode não ser necessariamente idêntica à de seus componentes originais na planta. Diversos compostos voláteis são sensíveis a temperatura, podendo sofrer desidratação (terpenos termicamente lábeis) ou ainda sofrer hidrólise durante a destilação (ésteres). Além disso, os extratos obtidos com o uso de solventes, fluidos supercríticos, ceras e graxas não são definidos como óleos essenciais, embora sejam também extratos aromáticos. Neste sentido, os óleos essenciais não são necessariamente óleos no tocante às suas propriedades físico-químicas, sendo que

esta definição se dá, mais efetivamente, por sua característica de hidrofobia e por serem lipofílicas.

A definição de óleos essenciais é aplicada a misturas complexas de substâncias, que podem ser de algumas poucas até centenas delas. No entanto, ocorre a predominância de cerca de até três componentes característicos da espécie vegetal trabalhada e que geralmente são pertencentes à classe dos terpenos ou fenilpropanos. Estas substâncias possuem diversas funções orgânicas, tais como álcoois, aldeídos, ésteres, fenóis e hidrocarbonetos. O aroma dos óleos essenciais não é necessariamente agradável ao olfato e nem sempre as plantas que os apresentam são dotadas de propriedades terapêuticas, podendo ser empregadas como chás ou condimento. O termo óleos funcionais vem sendo utilizado para denominar os compostos secundários de plantas, utilizado como aditivos alimentares, uma vez que nem todas as substâncias bioativas apresentam o caráter de essencialidade.

Já existem produtos à base de compostos bioativos registrados e comercializados para uso na nutrição de ruminantes. O Crina® Ruminants, da DSM Nutritional Products Ltda, uma empresa suíça, é um extrato a base de guaiacol, limoneno e timol. O Vertan®, da IDENA, empresa francesa, é um produto a base de eugenol, limoneno, timol e vanila. O Essential®, da Oligo Basics, empresa brasileira, é um produto a base de ácido cardol, cardanol e ácido ricinoleico. Estes produtos vêm se consolidando no mercado de aditivos para bovinos. Assim como ocorrido com os ionóforos, muitas destas substâncias foram inicialmente estudadas como potenciais coccidiostáticos para monogástricos (CROSS et al., 2007).

A atividade antimicrobiana de diversos componentes bioativos já foi constatada (DEANS; RITCHIE, 1987; CROSS et al., 2007; ARAUJO, 2010), sendo que muitos destes classificados para consumo humano como GRAS, sigla do inglês para *Generally Recognized as Safe* (FOOD AND DRUG ADMINISTRATION - FDA, 2004). Dentre os benefícios observados com o uso destes produtos pode-se destacar o risco irrisório de geração de resistência cruzada, uma vez que as combinações de moléculas bioativas apresentam diferentes modos de ação, além de elevada metabolização e eliminação pelo organismo animal (ACAMOVIC; BROOKER, 2005).

Neste sentido, pesquisas que visam estabelecer novos princípios ativos para serem utilizados como aditivos na alimentação animal têm ganhado expressiva importância. A proibição do uso de antibióticos, incluindo os ionóforos, como promotores de crescimento aprovada pela União Europeia em 2006 alavancou este processo de busca por alternativas.

Neste trabalho, considera-se a hipótese de que o *blend* de óleos funcionais de caju e mamona (ESSENTIAL®) altera o metabolismo ruminal, promovendo alterações no perfil fermentativo e melhoria de eficiência alimentar dos animais suplementados.

O objetivo com o presente estudo foi avaliar o uso de óleos funcionais como aditivo alternativo aos ionóforos (monensina sódica), sobre o consumo de matéria seca, ganho de peso diário, eficiência alimentar, digestibilidade da matéria seca, características de carcaça, perfil de AGV, pH e amônia ruminais, produção de proteína microbiana de animais zebuínos terminados em confinamento.

Referências

ACAMOVIC, T.; BROOKER, J.D. Biochemistry of plant secondary metabolites and their effects in animals. **The Proceedings of the Nutrition Society**, London, v. 64, n. 3, p. 403-412, 2005.

ARAUJO, R. C. (2010). Óleos essenciais de plantas brasileiras como manipuladores da fermentação ruminal in vitro. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. Recuperado em 2015-10-12, de http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-17032011-165221/

CROSS, D.E.; McDEVITT, R.M.; HILLMAN, K.; ACAMOVIC, T. The effect of herbs and their associated essential oils on performance, dietary digestibility and gut microflora in chickens from 7 to 28 days of age, **British Poultry Science**, London, v. 48, n. 4, p. 496-506, 2007.

DEANS, S.G.; RITCHIE, G. Antibacterial properties of plant essential oils. **International Journal of Food Microbiology**, Rome, v. 5, p. 165–180, 1987.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. **Guidance for industry:** frequently asked questions about GRAS. 2004. Disponível em: <http://www.fda.gov/food/guidanceregulation/guidance documentsregulatoryinformation/ucm061846.htm>. Acesso em: 08 jan. 2015.

GUNTHER, E. **The essential oils.** New York: D. Van Nostrand, 1948. v. 1, 427 p.

HATFIELD, R.; VERMERRIS, W. Lignin formation in plants. The dilemma of linkage specificity. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 126, p. 1351-1357, 2001.

KONDO, T.; YOSHIDA, K.; NAKAGAWA, A.; KAWAI, T.; TAMURA, H.; GOTO, T. Structural basis of blue-color development in flower plants from *Commelina communis*. **Nature**, London, v. 358, p. 515-518, 1992.

SANDBERG, S.L.; BERENBAUM, M.R. Leaf-tying by tortricid larvae as an adaptation for feeding on phototoxic Hypericum perforatum. **Journal of Chemical Ecology**, Philadelphia, v. 15, p. 875-886, 1989.

TRAPP, S.C.; CROTEAU, R.B. Genomic organization of plant terpene synthases and molecular evolutionary implications. **Genetics**, Bethesda, v. 158, p. 811–832, 2001.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Confinamento no Brasil

Em 1989, foram confinados no Brasil cerca de 700 mil animais (WEDEKIN; AMARAL, 1991). De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne (ABIEC, 2014), em 2013 foram abatidos 43,3 milhões de cabeças de bovinos, sendo 9,3% (4,05 milhões de cabeças) oriundas de sistemas de confinamento. Em 2014, foram abatidas 33,907 milhões de cabeças de bovinos no Brasil sob algum tipo de serviço de inspeção sanitária. Deste total, aproximadamente 12% foram terminados em confinamento (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS CONFINADORES - ASSOCON, 2015). A contribuição de animais oriundos de confinamento vem crescendo consistentemente, indicando que a modalidade estará cada vez mais presente na pecuária brasileira. A demanda mundial por alimentos e mercados globalizados e de alta competitividade, fazem da prática de confinamento uma necessidade para a intensificação do sistema de produção.

Responsáveis por mais de três milhões de cabeças confinadas (31 nutricionistas) participaram de uma pesquisa realizada no Brasil (MILLEN et al., 2009), na qual se constatatou que a dieta típica de confinamento contém 28% de forragem (mínimo de 12% e máximo de 45%). Este valor é cerca de três vezes superior ao observado nas dietas de confinamentos nos EUA (VASCONCELOS; GALYAN, 2007). Já em levantamento realizado por Oliveira e Millen (2014), verificou-se que a inclusão média de concentrado na dieta foi de 79%, sendo que 81,8% dos nutricionistas trabalham com inclusão de concentrado entre 71 e 90% da MS da dieta. Entre as vantagens da terminação de bovinos de corte em confinamento utilizando-se dietas de alto grão, pode-se destacar o fato que permite o abate de animais mais jovens, com melhor conversão alimentar e como resultados pode-se esperar melhorias na qualidade da carne e da carcaça, além da formação de lotes homogêneos. Este encurtamento do ciclo do nascimento ao abate permite maior taxa de desfrute, aumentando o giro de capital e disponibiliza áreas de pastagens para outras categorias animais. Fatos como estes fortalecem a utilização do confinamento como ferramenta estratégica no sistema de produção de bovinos e realçam a necessidade de, cada vez mais, se explorar este recurso de maneira tecnificada e economicamente eficiente (SILVA, 2014).

Com o uso de dietas de alto grão cada vez mais consagradas, cresce a demanda por outras formas de refinamento do manejo dos animais, em busca de incrementos de produtividade. O uso de aditivos alimentares já é prática comum na pecuária brasileira e na bovinocultura ganha um novo apelo com o surgimento de mercados que visam o bem estar animal e a segurança alimentar. De acordo com Oliveira e Millen (2014), 99,2 % dos clientes de 33 consultores de confinamento entrevistados utilizam algum tipo de aditivo na dieta dos bovinos. Dentre os que utilizam aditivos, os ionóforos são os mais amplamente utilizados (93,9 %), seguido de leveduras e probióticos (3,0 % cada). Muito embora o uso de determinados aditivos, como os ionóforos, tenha possibilitado significativos avanços tecnológicos, com expressiva elevação da produtividade animal, existe um novo apelo pela segurança alimentar. Respaldada no conceito da precaução, a União Europeia proibiu o uso de aditivos alimentares antibióticos como promotores de crescimento, sob a hipótese de surgimento de microrganismos patogênicos, para o ser humano, resistente a tratamento convencional com antibióticos. Tal postura incentivou as pesquisas em busca de alternativas para a alimentação animal.

2.2 Utilização de aditivos alimentares em dietas para bovinos em terminação

Segundo definição do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Instrução Normativa 15/2009), considera-se aditivo alimentar para animais os produtos destinados à alimentação animal, sejam substâncias, microrganismos ou produtos formulados, adicionados intencionalmente aos insumos, que não é utilizada normalmente como ingrediente, tenha ou não valor nutritivo e que melhore as características dos produtos destinados à alimentação animal ou dos produtos animais, melhore o desempenho dos animais sadios e atenda às necessidades nutricionais ou tenha efeito anticoccidiano.

O descobrimento de moléculas com ação antimicrobiana e de técnicas de cultivo de microrganismos em meio anaeróbio (HUNGATE, 1950), possibilitaram um expressivo desenvolvimento das pesquisas com foco na utilização de produtos capazes de alterar beneficamente o metabolismo ruminal. Durante a década de 1970, destacou-se a utilização de uma nova classe de antibióticos, os ionóforos. Produzidos principalmente por bactérias do gênero *Streptomyces* (REIS, 2006), são oriundos da fermentação realizada por vários tipos de actinomomicetos. Sua

aprovação para uso como promotor de crescimento de bovinos confinados, em 1975 pelo Food and Drug Administration, consistiu em importante ferramenta para a melhoria da eficiência da cadeia produtora de carne (McGUFFEY, 2001).

No entanto, a utilização consagrada dos ionóforos, com grande quantidade de material científico já publicado desde 1950, tem sofrido críticas quanto à possibilidade de gerar microrganismos patogênicos resistentes a antibióticos utilizados na medicina humana. O banimento do uso de antibióticos como promotores de crescimento pela União Europeia, em 2006, teve importante papel no estímulo a pesquisas em busca de alternativas para modulação da fermentação ruminal sem lançar mão do uso de antibióticos. Neste contexto, o uso de novas tecnologias, como enzimas e extratos de plantas como aditivos na nutrição de bovinos, vem mostrando importante potencial de ação no ambiente ruminal e viabilidade na comercialização de produtos que visam substituir agentes antibióticos como a monensina sódica (WALLACE et al., 2008).

De modo geral, os ionóforos são utilizados com o objetivo de melhorar o desempenho dos animais pelo aumento da eficiência energética, principalmente, em função do aumento da produção do ácido propiônico, da redução da relação acetato/propionato e diminuição da produção de metano, além da diminuição da produção de ácido lático e redução nas perdas de aminoácidos que seriam potencialmente fermentados no rúmen (McGUFFEY et al., 2001).

O modo de ação do diferentes ionóforos apresentam algumas diferenças, como maior afinidade por determinado cátion e a capacidade de atingir determinadas concentrações ruminais (PRESSMAN, 1976). Um determinado ionóforo liga-se com um cátion apropriado. O complexo ionóforo-cátion se liga à membrana da bactéria e então se solubiliza na bicamada lipídica das células (McGUFFEY, 2001). A interação com a membrana microbiana promove a troca do cátion por um próton. A geração de um gradiente catiônico e as relações de afinidade entre ionóforo e cátions levam aos resultados primários e mudanças iônicas secundárias.

Russell e Strobel (1989) propuseram um modelo que visa elucidar a ação da monensina sódica no desenvolvimento do *Streptococcus bovis*, uma bactéria ruminal Gram-positiva. Inicialmente, tem-se a concentração de K^+ intracelular superior à extracelular. Após a ligação da monensina com a membrana celular, ocorre a rápida

saída de K^+ e entrada de H^+ na célula, provocada pela alteração do gradiente iônico externo. Em seguida, o acúmulo de H^+ no interior da célula ocasiona diminuição do pH. Como resposta a queda no pH, o metabolismo celular é direcionado para exportar H^+ para o meio exterior, permitindo a entrada de Na^+ para o interior da célula. Como mecanismo adicional de exportação de H^+, são realizadas trocas pela "bomba" próton ATPase. Este processo demanda grande parte da energia produzida pela célula, com intuito de manter o pH e o balanço iônico celular. A manutenção desta condição faz com que a célula se torne incapaz de manter seu metabolismo energético, diminuindo sua capacidade de multiplicação, culminando com a morte bacteriana ou esta passa a compor um nicho microbiano sem expressão efetiva no ambiente ruminal.

2.2.1 Uso de ionóforos na produção de bovinos

Diversos estudos (FÜLLER; JOHNSON, 1981; RUSSELL; STROBEL, 1989; LANA; RUSSELL, 1996; HRISTOV et al., 2001; GUAN et al., 2006) demonstraram que a produção total de AGV não foi afetada, mas verificou-se diminuição da relação acetato:propionato, com uso de ionóforos. Esta alteração confere aumento da eficiência energética por parte do animal. Ocorre melhoria na utilização de proteína pelo ruminante decorrente da sensibilidade das bactérias proteolíticas e fermentadoras de aminoácidos aos ionóforos, o que promove a redução da concentração de N-amoniacal no fluído ruminal, provavelmente em função de inibir a deaminação, mais do que a proteólise propriamente dita (RUSSELL; STROBEL; CHEN, 1988). Neste sentido, ocorre a diminuição das exigências proteicas do animal (SCHELING et al., 1984; DARTT et al., 1978; McCARTHY et al., 1979) devida redução significativa da degradação ruminal da proteína da dieta (VAN NEVEL; DEMEYER, 1977; POOS et al., 1979; CHALUPA, 1980). Também foi observado aumento na digestibilidade aparente de energia e do nitrogênio e digestibilidade da fibra (HORTON et al., 1980; WEDEGAERTNER; JOHNSON, 1983; SPEARS, 1990).

Além das alterações no perfil de AGV e redução nas perdas por deaminação, o uso de ionóforos também está associado a redução na produção de metano. Durante a fermentação ruminal ocorre a liberação de hidrogênio decorrente do catabolismo anaeróbico da glicose, sendo a formação de metano o mecanismo primário de captura desses íons H^+ (TEDESCHI et al., 2003). As bactérias

metanogênicas, do grupo Archaea, normalmente encontradas no ecossistema ruminal são as responsáveis por este processo (BAKER, 1999). O uso de monensina sódica na dieta de bovinos de corte confinados reduziu as perdas de energia bruta da dieta na forma de metano em 9 % (APPUHAMY et al., 2013). O aumento da eficiência energética da dieta com o uso de ionóforos pode ser atribuído ao perfil fermentativo. Com a menor proporção acetato:propionato decorrente da produção de acetado relativamente menor e aumentada produção de propionato, molécula mais reduzida, espera-se menor produção de metano em função da menor disponibilidade de hidrogênio (WOLIN, 1960).

Um fator relevante quanto ao uso de ionóforos como agente modulador da fermentação ruminal é a capacidade de adaptação da microbiota do rúmen mediante o fornecimento a logo prazo. Os níveis de produção de metano podem retornar aos observados antes da utilização de ionóforos em um período de 30 dias (JOHNSON; JOHNSON, 1995; ROGERS et al., 1982). No entanto, a variação de outros fatores, como a fonte e teor de fibra na dieta, pode estar relacionada a alterações na produção de metano entérico (TEDESCHI et al., 2003).

2.2.2 Restrições ao uso de ionóforos

A União Europeia, com base no princípio da precaução, determinou a proibição do uso de antibióticos como promotores de crescimento para bovinos. A ação teve início em 1999, com a Dinamarca e em 2006 em toda UE. Embora a monensina sódica apresente resultados consistentes na melhoria do desempenho animal, a hipótese de que possa ocorrer a geração de microrganismos resistentes a antibióticos terapêuticos ainda gera polêmica (BARTON, 2000). No entanto, devido ao diferente mecanismo de ação, em relação aos antibióticos de uso terapêutico, é considerado pouco provável o desenvolvimento de patógenos resistentes (RUSSELL; HOULIHAN, 2006). Além disso, estudos realizados com animais, buscando quantificar a presença em tecidos, rotas de eliminação, metabolismo e farmacocinética da monensina, indicaram que, quando administrada via oral, este ionóforo é absorvido, extensamente metabolizado, excretado na bile e eliminado nas fezes das várias espécies examinadas, não sendo detectado o acúmulo de monensina nos tecidos de bovinos e aves (DONOHO, 1984).

Mediante tais restrições, torna-se cada vez mais interessante a descoberta de aditivos alternativos aos ionóforos, assim como a realização de estudos com os aditivos já existentes, aumentando assim a consistência das informações. Uma importante vertente das pesquisas é composta pelos estudos em que se avaliam o uso de compostos secundários de plantas como aditivos na alimentação animal. Comumente referidos como óleos essenciais, estas substâncias, ou conjunto delas vem adquirindo relevância dentro do mercado de produtos comerciais disponíveis para uso. Nesta revisão, o termo óleos funcionais representa esta gama de componentes bioativos extraídos de vegetais e utilizados como aditivos alimentares.

2.2.3 Óleos Funcionais

Óleos funcionais são componentes secundários dos organismos vegetais e podem ser extraídos mediante destilação a vapor ou extração com solventes (PRATA; SAXENA, 2010). Por centenas de anos, extratos de plantas vem sendo explorados por suas propriedades aromáticas, antisséptica e conservante. A ação antioxidante, anti-inflamatória e antimicrobiana observada em grande número de substâncias extraídas de plantas confere a estes compostos um potencial importante como aditivo alternativo para uso na nutrição de bovinos (CALSAMIGLIA et al., 2007; BENCHAAR et al., 2008).

Os óleos funcionais podem ser definidos como aqueles que apresentam, além de seu conteúdo energético, a capacidade de interferir nos processos bioquímicos. Uma distinção bioquímica importante a se fazer é que óleos essenciais apresentam características que lhe conferem o caráter de essencialidade das substancias aromáticas. Também é importante que não sejam confundidos com o caráter de essencialidade que alguns ácidos graxos apresentam na nutrição. Corriqueiramente, alguns óleos não essenciais têm sido assim chamados por estarem sendo testados na mesma linha de pesquisa daqueles legitimamente com características de essência. O termo óleos funcionais (OF) representa melhor substâncias que apresentam alguma molécula ativa capaz de alterar o metabolismo de um organismo. Todos os óleos essenciais são funcionais, porém nem todos os óleos funcionais são essenciais.

Os registros mais antigos envolvendo a análise sistemática sobre óleos essenciais podem ser atribuídas ao químico francês M.J. Dumas (1800-1884), que analisou alguns hidrocarbonetos e oxigênio, bem como enxofre e compostos nitrogenados, tendo publicado seus estudos em 1833 (KUBECZKA, 2010). Outro importante pesquisador, Wallach, observou equivalência química entre diversos terpenos, anteriormente descritos sob diferentes nomes. Juntamente com outros pesquisadores empregou o método de destilação fracionada para isolar e estudar separadamente as propriedades básicas de cada composto. Inicialmente, os hidrocarbonetos presentes nos óleos essenciais com a fórmula molecular $C_{10}H_{16}$ eram conhecidos como terpenos de Kekulé (tutor de Wallach), devido a sua ocorrência em óleo de terebintina (do inglês: *turpentine oil*) ou ainda chamados de cânforas ($C_{10}H_{16}O$ e $C_{10}H_{18}O$). Em 1891, Wallach caracterizou os terpenos pineno, canfeno, limoneno, dipenteno, felandreno, terpinoleno, fencheno (KUBECZKA, 2010).

Muitos óleos essenciais são hoje empregados como agentes flavorizantes de alimentos, na confecção de perfumes nobres, na indústria para síntese de compostos aromáticos e remédios, como recurso terapêutico na aromaterapia e aromatologia. Dada à sua complexidade química, os óleos funcionais desenvolvem vasta amplitude de ações terapêuticas. Podemos citar como exemplo pesquisas feitas pela University of Western Australia com o óleo de tea tree. Estudos comparativos com o óleo da *Melaleuca alternifolia* e o fluconazol diante de cepas de *Cândida albicans* demonstraram que após a sexta geração, o fluconazol havia perdido sua eficácia, enquanto o óleo extraído da *Melaleuca* ainda assim mantinha eficácia fungicida. Ou seja, óleos essenciais dada à sua complexidade química sinérgica, conseguem manter um alto padrão de atividade antibiótica e anti-séptica diante de microorganismos, mais eficaz que alguns medicamentos sintetizados em laboratórios.

2.2.4 Modo de ação dos óleos funcionais

Diversos composto agem sobre bactérias gram-positivas e gram-negativas (OHENE-ADJEI et al., 2008). A inibição da captação de glicose e efeitos nas características da membrana celular são apontados como possíveis mecanismos de atuação de cinemaldeído contra *Liseteria monocytogen* (GILL; HOLLEY, 2004).

Reatividade do sulfidrilo, tem sido sugerido como base para a susceptibilidade de bactérias enteropatogênicas como algumas do gênero *Campylobacter* e *Vibrio* à presença de óleo de alho (ROSS et al., 2001). O bloqueio da síntese de lipídeos por extrato aquoso de alho, em *Candida albicans* também foi apontado como um possível mecanismo atuante na modulação da fermentação ruminal (ADETUMBI; JAVOR; LAU, 1986).

O efeito sinérgico entre OF e ácidos orgânicos também é sugerido como fator de contribuição na atuação em nível de membrana bacteriana (ZHOU et al., 2007). Entre as ações destas substâncias, pode-se destacar que *a*gem provocando injúrias na membrana celular, aumentando o gasto de energia dos microrganismos; impedem as bactérias de formarem pilos (fimbrias); limitam capacidade de locomoção, crescimento e multiplicação bacteriana; a associação de óleos com ácidos orgânicos facilita a ação na forma não dissociada em pH próximo ao neutro (CHU; HAWES; LORIGAN, 2009; CHOI, et al., 2009; ZHOU et al., 2007).

Não obstante os esforços em compreender o mecanismo de ação dos OF, o pleno entendimento dos processos bioquímicos envolvidos ainda será foco de muitas pesquisas. A grande quantidade de fatores e suas interações na determinação de um resultado de desempenho é particularmente complicada, muito em função da dinamicidade do ecossistema ruminal.

As interações dos princípios ativos dos extratos vegetais são em sua maioria comparáveis à ação dos ionóforos e estão associadas à membrana celular, como no transporte de elétrons e gradiente de íons, translocação de proteínas, fosforilação e outras reações com dependência enzimática (ULTEE; KETS; SMID, 1999; DORMAN; DEANS, 2000).

Os benefícios da ação biológica dos ionóforos aos bovinos podem ser distribuídos em quatro áreas: 1. Aumento da disponibilidade de energia da dieta em virtude da menor produção de metano e maior produção de propionato; 2. Redução da degradação de proteína e deaminação de aminoácidos no rúmen; 3. Diminuição das desordens digestivas resultantes da fermentação ruminal anormal; 4. Diminuição dos casos de coccidiose (BERGEN; BATES, 1984). Da mesma forma, Coneglian (2009) elenca algumas hipóteses que têm sido consideradas acerca do modo de ação dos óleos funcionais: (1) controle de patógenos pela atividade antimicrobiana, (2) atividade antioxidante, (3) melhora na digestão, pelo do estímulo da atividade

enzimática e (4) morfometria dos órgãos. Segundo Kohlertet al. (2000), os princípios ativos dos óleos funcionais são absorvidos no intestino pelos enterócitos e metabolizados rapidamente no organismo animal. Os produtos deste metabolismo são transformados em compostos polares, pela conjugação com o glicuronato, e excretados na urina. Outros princípios ainda podem ser eliminados pela respiração, como CO_2. A rápida metabolização e a curta meia vida dos compostos ativos levam a crer que existe um risco mínimo de acúmulo nos tecidos. Desta forma, o surgimento de microrganismos resistentes a medicamentos utilizados na medicina humana estaria descartado.

De acordo com Burt (2004), existem diferentes locais e mecanismos de ação para os princípios ativos presentes nos diversos tipos de OF (Figura 1). Os OF podem atuar diretamente na degradação da parede celular (THOROSKI; BLANK; BILIADERIS, 1989; HELANDER et al., 1998); lesando a membrana citoplasmática (KNOBLOCH et al., 1989; SIKKEMA; DE BONT; POOLMAN, 1994; OOSTERHAVEN et al., 1995; ULTEE et al., 2000a, 2002); prejudicando as proteínas de membrana (JUVEN et al., 1994; ULTEE et al., 1999); promovendo o extravasamento do conteúdo celular (OOSTERHAVEN; POOMAN; SMID, 1995; GUSTAFSON et al., 1998; HELANDER et al., 1998; COX et al., 2000; LAMBERT et al., 2001); coagulação do citoplasma (GUSTAFSON et al., 1998); ou ainda, a exaustão do sistema bombeador de prótons (ULTEE; SMID, 2001; ULTEE; KETS; SMID, 1999).

Outra possível via de atuação dos OF, descrita por Feldberg et al. (1988), indica que substâncias ativas presentes no óleo de alho podem inibir a síntese de RNA, DNA e proteínas celulares. Estes compostos atuariam inibindo a atividade da enzima 3-hidroxi-3-metil-glutaril coenzima A redutase (HMGCoA), reduzindo a produção de metano ruminal, pela diminuição do número de microrganismos *Archaea*, demonstrado em ensaios in vitro (BUSQUET et al., 2005a, 2005b).

As substâncias bioativas presentes nos OF podem atuar inibindo o crescimento de bactérias gram-negativas e gram-positivas, criando sinergismo com os processos enzimáticos, reduzindo perdas como produção de metano ou ainda por melhorar a saúde animal (BENCHAAR et al., 2008; KUBO et al., 1987).

As alterações nas respostas, seja *in vitro* ou *in vivo,* podem ser decorrentes de fatores diretos, como o tipo e a dose utilizados (NOIROT et al., 2007), bem como

devidas a fatores indiretos, tais como os ingredientes da dieta e suas proporções (KLEVENHUSEN et al., 2012).

Em diversos estudos *in vitro* tem sido relatada a redução na produção de metano (ADETUMBI et al., 1986; CHAVES et al., 2008; MACHEBOEUF et al., 2008; WANG; WANG; ZHOU, 2009) sem que, no entanto, seja observado o mesmo padrão de respostas quando os OF são avaliados *in vivo* (BEAUCHEMIN; McGINN, 2006). É importante observar se o efeito de reduzir a produção de metano não está associado à diminuição da digestibilidade (PATRA et al., 2010; SOLIVA et al., 2011; PATRA; YU, 2012). A diminuição na produção de metano pode ser causada pelo decréscimo no fornecimento de hidrogênio como substrato para as bactérias metanogênicas (MOSS et al., 2000; HOOK et al., 2010).

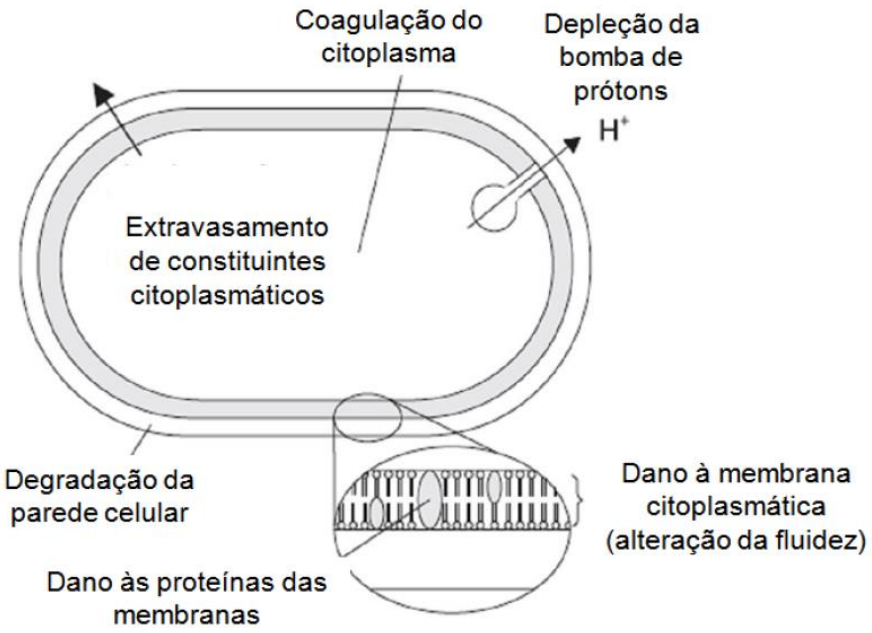

Figura 1 - Mecanismos de ação possíveis em função a diversidade de princípios ativos presentes nos OF

Adaptado de Burt (2004)

A contribuição do metano entérico na acumulação de gases de efeito estufa é de consenso global (HOOK; WRIGHT; MCBRIDE, 2010). A produção de metano atribuída à pecuária mundial é cerca de 18% da geração global de gases de efeito estufa e por volta de 37% de metano e 65% do óxido nitroso decorrente de ações antropogênicas (FAO, 2006). As perdas de energia por produção de metano durante

a fermentação ruminal podem ser da ordem de 2 a 12%, dependendo principalmente do tipo de dieta (JOHNSON; JOHNSON, 1995; JOHNSON; WARD, 1996). Neste sentido, importante atenção tem sido dada a este assunto (KEBREAB et al., 2006; SHIBATA; TERADA, 2010).

Além do apelo ambiental pelo potencial como agente da redução de metano entérico (CALSAMIGLIA et al., 2007; PATRA; SAXENA, 2010), o uso de OF na alimentação de bovinos pode promover aumento na produção de leite e na eficiência alimentar (GIANNENASI et al., 2011; TASSOUL; SHAVER; 2009; KUNG et al., 2008). É importante salientar a existência de fatores de interferência observado entre estudos com fornecimento de OF na dieta ou mesmo para avaliações *in vitro*, tais como a ampla gama de tipos de moléculas bioativas presentes na natureza e passíveis de utilização. A exemplo pode-se citar o cinamaldeído (extraído da canela, *Cinnamomum zeylanicum), o* timol (extraído do tomilho, *Thymus vulgaris*), o carvacrol (extraído do orégano, *Origanum sativum*), a alina e alicina (extraídos do alho, *Allium sativum*), o citrol e citronolol (obtidos de plantas cítricas), o ácido anacárdico (obtido de plantas da família Anacardiaceaea), o eugenol (principal componente ativo do cravo), a capsaicina (componente ativo da pimenta), entre inúmeros outros. Parte das variações observadas na degradabilidade da fibra podem ser decorrentes do tipo e dose utilizada de OF e da interação com a dieta (CALSAMIGLIA et al., 2007; MACHEBOEUF et al., 2008.

2.2.5 Ação dos óleos funcionais na microbiota ruminal

Diversos estudos *in vitro* têm sido conduzidos com o intuito de identificar agentes potenciais para utilização em estudos envolvendo animais, a fim de desenvolver aditivos alternativos na modulação da fermentação ruminal (JANSSEN et al., 1987; HAMMER et al., 1999; BENCHAAR et al., 2007; CASTILLEJOS et al., 2008; PATRA, 2011; TALEBZADH et al., 2012; GUNAL et al., 2013), com comprovados efeitos na inibição do crescimento microbiano.

O aumento na diversidade de bactérias Archaea e concomitante alteração na população de protozoários (OHENE-ADJEI et al., 2007, 2008), após a suplementação com OF como anetol, cinemaldeído, e eugenol (WRIGHT et al., 2004; YANAGITA et al., 2000) dá suporte para teoria da adaptabilidade das

bactérias (BUSQUET et al., 2005; CARDOZO et al., 2004, 2006). Este fenômeno seria mais uma etapa a ser considerada para o fornecimento de OF na dieta de bovinos por longo período. Muito embora os microrganismos pareçam apresentar capacidade de adaptação ao uso de OF (NAGY; TENGERDY, 1968), a influência dos OF na inibição de populações microbianas parece ser mais proeminente em microrganismos associados à fração sólida do que para os dispersos na porção aquosa (McINTOSH et al., 2003).

Patra e Yu (2012) observaram redução na produção de metano concomitantemente com redução da quantidade de bactérias metanogênicas e produção total de microrganismos com uso de óleos de cravo e orégano, porém a adição de óleo de alho ou de eucalipto não afetou estas variáveis. Entretanto, os autores observaram redução no número de bactérias celulolíticas e alteração no perfil de archaea bactérias. A natureza fenólica do óleo de orégano pode ser responsável pela maior atividade inibitória no crescimento de microrganismos (PATRA;YU, 2012).

Hobson (1969 apud WALLACE et al., 2002) testando a sensibilidade de diversos microrganismos predominantes no rúmen sob o efeito de doses crescentes de OF (*Butyrivibrio fibrisolvens, Clostridium aminophilum, Escherichia coli, Eubacterium ruminantium, Lachnospira multíparas, Megasphaera elsdenii, Mitsuokella multiacidus, Prevotella albensis, Prevotella brevis, Prevotella bryantii, Ruminococcus albus, flavefaciens Ruminococcus, Selenomonas ruminantium, Streptococcus bovis e Veillonella parvula*) eram insensíveis a doses de 40 ppm de OF. Apenas *Clostridium sticklandii, Prevotella ruminicola* e *Peptostreptococcus anaerobius* foram impedidos de crescer na dose de 40 ppm. Bactérias metanogênicas, como *Methanobrevibacter smithii*, também foram sensíveis a dose utilizada. Embora em menor intensidade, *Ruminobacter amylophilus* foram capazes de crescer na dose de 40 ppm, podendo ser considerado sensível ao uso de OF (WALLACE et al., 2002). A sensibilidade de algumas bactérias amilolíticas pode ser considerada como interessante para saúde ruminal, principalmente em dietas de alto concentrado ricas em amido.

O uso de OF na dieta pode não afetar o número de bactérias super produtoras de amônia, como *Clostridium sticklandii* e *Peptostreptococcus anaerobius.* No entanto, a diversidade dessa classe pode ser reduzida

consideravelmente em até 70% (RUSSELL; ONODERA; HINO, 1991). Comparativamente, OF parecem afetar a deaminação em menor intensidade que o uso de ionóforos, que chegam a reduzir em até 32% a produção de amônia (STEWART; FLINT; BRYANT, 1997). Embora haja uma convergência dos resultados obtidos *in vitro* com as avaliações realizadas *in vivo,* a observação de melhorias no desempenho animal envolve fatores como tipo de dieta e categoria animal que podem gerar variações importantes (WALLACE et al., 2002).

Foi observada redução de até 30% na população de protozoários com a adição de OF em doses geralmente recomendadas ou elevadas, mas para pequenas doses (<0,20 g/kg de MS) ocorreu o efeito inverso (KHIAOSA-ARD; ZEBELI, 2013). A produção de metano também está associada a população de protozoários, que podem contribuir com 10 a 25 % na produção de metano entérico (NEWBOLD et al., 1995). Embora a diminuição da produção de metano decorrente do uso de OF possa ser associada com a redução no número de protozoários (SOLIVA et al., 2011), Khiaosa-ard e Zebeli (2013) sugerem que estes microrganismos tenham importância relativamente pequena na mitigação de metano, uma vez que redução da população é observada geralmente com uso de doses acima do considerado ótimo.

Wallace et al. (2002) observaram que a atividade proteolítica ou peptidolítica não foi afetada com o uso de OF, mesmo quando é observado decréscimo na concentração de amônia. Culturas puras de bactérias super-produtoras de amônia demonstraram maior sensibilidade ao uso de OF. Também foram observadas alterações no processo de colonização, que foi mais lento com o uso de OF, além da diminuição a atividade de protozoários ciliados, melhorando o fluxo de proteína saindo do rúmen (MCINTOSH et al., 2003). Talebzadeh et al. (2012), avaliando a utilização de OF de *Zataria multiflora* (carvacrol, p-cimeno e timol) em fermentação *in vitro*, observaram redução na produção de gás e desaparecimento de MS, com aumento no tempo de colonização. Também foi verificada a redução no número de protozoários e atividade fúngica.

O surgimento de cepas de *Escherichia coli,* resistentes a medicamentos convencionais também é foco de estudos do uso de OE. Sendo que já se comprovou a eficácia de alguns princípios ativos no combate a este microrganismo (CHANG, CHEN, CHANG, 2001; ELGAYYAR et al., 2001; IMAI et al., 2001;

MARINO et al., 2001). Também verificou-se eficácia no uso de OF contra *Pseudomonas aeruginosa* (CIMANGA et al., 2002) e *Helicobacter pylori* (IMAI et al., 2001). Nam et al. (2006) avaliaram o uso de OF obtidos de casca de citros e observaram efeitos de inibição de crescimento para *Escherichia coli* e *Salmonela enteritidis*. Embora tenha sido verificado retorno no crescimento após 24 e 72 horas, respectivamente, não houve alteração na digestibilidade da MS, MO e pH *in vitro*, indicando a possibilidade de uso de OF como agentes conservantes de alimentos sem prejuízos para o desempenho animal. Atenção deve ser dada para o uso de OF como ferramenta na conservação de alimentos, no sentido de se garantir a segurança alimentar ao consumidor, bem como a saúde animal durante o processo de produção.

2.2.6 Óleos funcionais na alimentação de ruminantes

A utilização de extratos vegetais no metabolismo dos ruminantes refere-se, principalmente, a sua atuação no rúmen. Resultados semelhantes à utilização de ionóforos como moduladores da fermentação ruminal têm sido observados. As alterações no perfil fermentativo, referentes aos produtos resultantes dos processos de degradação e ao balanço populacional de bactérias e protozoários no ambiente ruminal indicam um padrão de ação semelhante aos ionóforos (CONEGLIAN, 2009).

Dentre os resultados do uso de OF como aditivos na nutrição de bovinos pode-se citar a melhoria da eficiência alimentar, decorrente da maior eficiência energética da dieta, bem como a diminuição da proporção acetato:propionato, com aumento na proporção molar de propionato e diminuição da deaminação (MCINTOSH et al., 2003).

Pode-se considerar que a degradação ruminal da fibra não atinge seu ótimo, uma vez que a porção fibra recuperada nas fezes é fermentável (KRAUSE et al., 2003). Isto amplia o interesse na descoberta de novos produtos capazes de melhorar a eficiência produtiva pela melhoria dos processos biológicos do rúmen. O perfil fermentativo é amplamente afetado pela adição de OF em avaliação in vitro. Pode não ocorrer variações (CHAVES et al., 2008; PATRA; KANRA; AGARWAL, 2010), aumento (WANG; WANG; ZHOU, 2009; CASTILLEJOS et al., 2005) ou ainda a decréscimo (MALECKY; BROUDISCOU; SCHMIDELY, 2009; KLEVENHUSEN et

al., 2012; PATRA; YU, 2012) na produção de AGV. Pode ainda não ser observada a mesma magnitude de resposta quando se transfere os elementos e doses testados em laboratório para o ambiente in vivo.

Patra e Yu (2012), avaliando a inclusão de óleo de cravo, eucalipto, alho, orégano e hortelã-pimenta, com doses de 0,25, 0,50 e 1,0g/L observaram redução na produção de metano com aumento da dose, com 34,4%, 17,6%, 42,3%, 87,0% e 25,7% para cravo, eucalipto, alho, orégano e hortelã-pimenta, respectivamente. No entanto, a digestibilidade aparente da MS e FDN também decresceram com a adição dos OF, exceto para óleo de alho.

Vakili et al. (2013), fornecendo OF de tomilho e canela na dieta de animais em crescimento, não observaram efeito no CMS, GPD, EA, pH, amônia e AGV total. Porém, foi observado aumento na proporção molar de propionato e redução do acetato. A redução da relação acetato:propionato é um importante indicativo de possível incremento na eficiência energética da dieta.

Na avaliação de doses crescentes de óleo de cravo, eucalipto, alho, orégano e hortelã-pimenta, Patra e Yu (2012) observaram decréscimo na concentração de AGV com o uso de óleo de cravo e de orégano, mas não detectaram diferenças para adição de óleo de alho ou hortelã-pimenta. A proporção molar de acetato, por exemplo, não foi afetada com uso de óleo de cravo, mas decresceu com a adição de óleo de eucalipto e alho e aumentou com o uso de óleo de orégano e hortelã-pimenta. O propionato só aumentou com uso de óleo de alho, decrescendo para os demais OF testados.

Gunal et al. (2013), testando a influência de OF (óleos de citronela, alecrim, cravo, tomilho) na fermentação *in vitro*, observaram, além dos efeitos mais consistentes de estabilidade pH, redução da produção de amônia e perfil de AGV, relataram a redução na formação de ácido esteárico e de ácidos *trans*. Estas alterações indicam que OF podem alterar as vias da biohidrogenação ruminal, levando à produção de intermediários não quantificados no estudo. No entanto, os autores não verificaram alterações na quantificação de ácido linoleico conjugado (CLA). Os CLA’s têm recebido importante destaque devido a sua atuação como agente anti-inflamatório e anticacinogênico (CRUMB, 2011), sendo interessante seu incremento nos produtos animais.

Khiaosa-Ard e Zebeli (2013) realizaram uma meta-análise agrupando 34 experimentos, com 97 tratamentos com OF, provenientes de 28 publicações. A dose média fornecida foi de 0,10 g/kg de MS (variando de 0,04 a 0,25), 0,15g/kg de MS (variando de 0,01 a 0,43) e 0,22g/kg de MS (variando de 0,02 a 0,75), respectivamente para bovinos de corte, leiteiros e pequenos ruminantes (ovinos/caprinos). Todas as variáveis de fermentação ruminal apresentaram comportamento linear em função da dose. A concentração de amônia e produção de metano reduziram com o aumento da dose e compostos bioativos extraídos de plantas. A redução na produção de metano chegou a 12% para bovinos de corte. Corroborando com outros estudos (CHAVES et al., 2008; PATRA; KAMRA; AGARWAL, 2010), a concentração de AGV não sofreu alterações, embora tenha sido detectada alteração no perfil fermentativo, com redução da participação do acetato e butirato na proporção molar e aumento do propionato, para bovinos de corte.

O pH apresenta variações mais inconsistentes entre experimentos, podendo apresentar leve redução (KHIAOSA-ARD; ZEBELI, 2013). A não alteração no pH observadas em muitos trabalhos pode ter uma representação positiva na manutenção da saúde ruminal (ZEBELI et al., 2012). Da mesma forma, alterações na produção de amônia são geralmente dose dependentes, sendo que diminuição expressiva é observada quando há o fornecimento de doses elevadas (100g/kg de MS), muito acima das doses mínimas efetivas (KLEVENHUSEN et al., 2012). No entanto, deve-se considerar a possibilidade de aumento na oferta de proteína com o uso de OF. A diminuição na proteólise poderia contribuir para o aumento do fluxo de proteína para os intestinos (LIN et al., 2012). Por outro lado, há relatos do uso de OF na dieta, como a capsaicina, estimular proteólise, gerando mais peptídeos e aminoácido no rúmen, aumentando a proteína metabolizável em função de maior síntese de proteína microbiana (CALSAMIGLIA et al., 2007).

A grande variação nas condições experimentais e o pequeno número de experimentos com desempenho, comparando-se a outras tecnologias amplamente avaliadas como práticas de processamento e uso de ionóforos, dificulta a elucidação de comportamento claro das variáveis de produção. Para vacas em lactação, a produção de leite pode variar drasticamente, embora geralmente não se detecte incremento da produção com a adição de OF (SOLTAN; SHEWITA; AL-SULTAN,

2009; KHIAOSA-ARD; ZEBELI, 2013). Foram observados dados de produção de leite de -6.7 até + 5%, em relação ao controle (SANTOS et al., 2010; KUNG et al., 2008; PATRA, 2011).

O fornecimento de OF para bovinos pode alterar a fermentação, proteólise e metanogênese ruminal, com alterações nas populações microbianas (CALSAMIGLIA et al., 2007). A grande variedade de princípios ativos obtidos de diferentes plantas contribui para variação nos resultados de experimentos (BURT, 2004; PRATA; YU; 2012). Os diferentes princípios ativos e sua possível interferência na palatabilidade podem interferir na magnitude das alterações (OH; JONES; LONGHURST, 1968; PATRA, 2011).

2.3 Caracterização do produto (ESSENTIAL ®)

Os compostos bioativos do Essential® são o cardol e cardanol (presente no extrato de caju) e ácido ricinoleico (presente no extrato de mamona). Estas substâncias são terpenóides aromáticos, líquidos e lipofílicos que podem ser extraídos de diferentes partes da planta (KOHLERT; VAN RENSEN; MARZ, 2000). O óleo extraído da casca da castanha do *Anacardium occidentale* L., Anacardiaceae (caju) contém ácido gálico, sais minerais, substâncias nitrogenadas e sulfuradas, sacarídeos e fenóis. Estes são formados por quatro tipos de misturas n-alquil fenólicas constituídas por derivados de ácido salicílico (ácido anacárdico), derivados de resorcinol (cardol e 2-metil cardol) e monofenóis (cardanol). Os termos ácido anacárdico, cardol, 2-metil cardol e cardanol são usados para descrever, respectivamente, as misturas de ácidos 6-n-alquil salicílicos, 5-n-alquil resorcinois, 2-metil 5-n-alquil resorcinois e 3-n-alquil fenóis (CASADEI; BRUHEIM; LATIS, 1984; LLOYD; DENNY; KRISHNA, 1980).

O ácido anacárdico é prontamente descarboxilado em cardanol quando submetido a um tratamento térmico ou pode sofrer polimerização quando armazenado à temperatura ambiente por um ano ou mais. As propriedades antibacterianas do ácido anacárdico são reportadas há mais de 20 anos e tem sido amplamente investigadas. Estas substâncias apresentam atividade antimicrobiana, modificando a estrutura da membrana celular bacteriana, desnaturando e

precipitando as proteínas (SILVA, 2008). Este composto foi isolado de *Anacardium occidentale* (KUBO, 1986) e *Ozoroa mucronata* (KUBO, 1987), plantas da família Anacardiaceaea, que é representada por 70 gêneros e cerca de 600 espécies, mais conhecida por suas espécies frutíferas, entre elas: manga (*Mangifera* sp.), originária da Ásia, e caju (*Anacardium* sp.), nativo do Brasil. São, geralmente, árvores ou arbustos com canais resinosos que, quando expostos por injúrias, têm um cheiro característico. Sua madeira é de boa qualidade e muitas substâncias são extraídas para uso na indústria e na medicina (WATSON; DALLWITZ, 2010).

O ácido anacárdico e o cardol são os dois componentes do óleo de caju com ação antimicrobiana. Os dois são compostos fenólicos. Funcionam como um ionóforo monovalente (NAGABHUSA et al., 1995). O cardanol tem atividade tanto anti-inflamatória como antioxidante (AMORATTI et al., 2001; TREVISAN et al., 2006). Por outro lado, o ácido ricinoleico é um ácido graxo muito parecido ao ácido oleico, sendo a única diferença um radical hidroxila presente no ácido ricinoleico e ausente no oleico. Por este motivo o ácido ricinoleico é também chamado hidroxioleico. O ácido ricinoleico funciona como um ionóforo divalente (VIEIRA et al., 2001).

Na medicina humana são relatados benefícios do ácido C15-anacárdico, extraído do caju (KUBO, 1993), atuando na inibição do crescimento de *Helicobacter pylori*, que é considerado causador da gastrite aguda; *S. Aureus, que* é uma das principais bactérias que causam envenenamento alimentar, e *S. mutans* é a bactéria responsável pela cárie dentária (KUBO, 1999; MUROI, 2004).

Em experimentos com novilhos precoce da raça Purunã, Zawadzki et al. (2010) observaram que a adição de óleos funcionais na dieta melhora o peso e rendimento da carcaça. Coneglian (2009) testou a inclusão de diferentes doses de produto comercial contendo mistura de óleo de caju e de mamona (Essential®) em novilhos holandeses e observou melhores efeitos positivos na digestibilidade aparente total dos nutrientes em nível de 3,10 g/dia. Também foi observado que o aditivo manteve o pH ruminal adequado, baixa concentração de amônia, adequada concentração de nitrogênio ureico plasmático e melhorou a eficiência e síntese microbiana. De acordo com McIntosch et al. (2003), a inclusão de óleos funcionais reduz a quebra de aminoácidos sem comprometer a atividade proteolítica e peptidolítica. A combinação destes efeitos e suas interações no metabolismo,

embora ainda não amplamente elucidadas, podem sustentar a explicação para desempenho semelhante aos obtidos com o uso de ionóforos, como a monensina sódica. A monensina tipicamente aumenta a eficiência alimentar, o que pode ser relacionado com a diminuição da amônia e metano produzidos no rúmen, observados juntamente com a maior proporção de propionato (MORALES et al., 2012).

O ácido anacárdico (ácido 2-hidroxi-6-pentadecil), que é um ácido salicílico derivado com uma cadeia alquila linear de 15 carbonos (MENGER et al., 1991), forma derivados lipofílicos de alta afinidade por metal, com seletividade interessante (NAGABHUSHA et al., 1995).

Ácido anacárdico (Figura 3) é o produto de hidrogenação do composto que ocorre naturalmente como ácido anacárdico insaturados, ou seja, o 8'Z-monoeno, o 8'Z, 11 'Z-dieno, e a 8'Z, 11 'Z, 14'-trieno, 2-4, respectivamente (MENGER et al., 1991). Estes compostos são os principais constituintes (cerca de 75%) do líquido do caju, que é um subproduto do processamento do *Anacardium occidentale* L., e pode ser considerado um recurso renovável disponível em abundância (SHOBHA; RAVINDRANATH, 1991). Os compostos secundários destas plantas são rapidamente acumulados no reservatório durante a parte inicial do crescimento da castanha de caju (SHOBHA et al., 1992) e pode desempenhar um papel importante na proteção do fruto, alterando a fecundidade da população de insetos vivos na árvore (GRAZZINI et al., 1991).

Como um álcali, o ácido anacárdico apresenta afinidade por íons metálicos, sendo a ordem de seletividade na primeira linha de metais de transição, com maior seletividade para Fe^{2+} e CU^{2+}, seguido por Zn^{2+}, em preferência a Co^{2+}, Mn^{2+} e Ni^{2+} (NAGABHUSHA et al., 1995).

O cardanol é um alquilresorcinol encontrado em maior quantidade no óleo extraído de cajú. Este composto tem atividade tanto anti-inflamatória como antioxidante (AMORATTI et al., 2001; TREVISAN et al., 2005). Os alquilresorcinóis são compostos encontrados em outros produtos de origem vegetal como certos cereais. Trabalhos com alquilresorcinol derivado de cereais mostraram aumentos de gamma-tocoferol no fígado e pulmões de ratos suplementados (ROSS et al., 2004).

Cada princípio ativo presente em OF apresenta na literatura uma série de estudos mais ou menos desenvolvidos, geralmente com estudos iniciais realizados *in vitro*. Comprovando-se a potencial ação na modulação da fermentação segue-se com estudos envolvendo animais.

O ácido ricinoleico (Figura 2) foi verificado como uma alternativa de grande potencial no tratamento de inflamações neurológicas, uma vez que produziu os efeitos anti-inflamatórios em cobaias, sem gerar efeitos adversos, como a irritação causada por anti-inflamatórios alternativos, como a capsaicina e a carragena (VIEIRA et al., 2001). Os compostos presentes no óleo de mamona exibem outras propriedades biológicas interessantes, entre elas antitumoral (KUBO et al., 1993) antimicrobiano (HIMEJIMA; KUBO, 1991), antiacne (KUBO; MUROI, 1994), e moluscicida (KUBO et al., 1986). Elas também inibem a atividade de várias enzimas importantes, tais como ciclo-oxigenase (GRAZZINI et al., 1991), a lipoxigenase (SHOBHA et al., 1994), e tirosinase (KUBO et al., 1994).

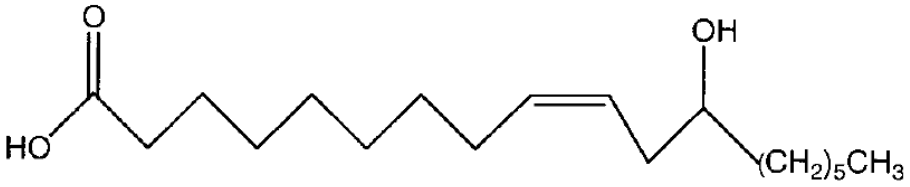

Figura 2 - Fonte: Vieira et al. (2001). Estrutura química do ácido ricinoleico

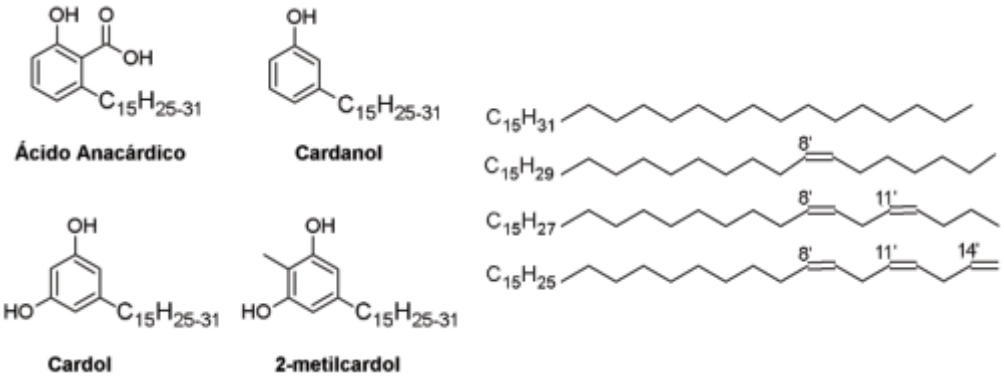

Figura 3 - Principais constituintes do líquido da casca da castanha do caju
Fonte: Mazzetto e Lomonaco (2009)

Vieira et al. (2001) demostraram a ação anti-inflamatória do ácido ricinoleico, em nível ocular, quando usado continuamente em cobaias. Segundo manual da empresa Oligo Basics, o produto Essential® pode ser usado em todas as fases de vida dos ruminantes, sejam de corte ou leite, incluindo vacas secas e animais em terminação, respeitando as dosagens recomendadas para cada fase. Os componentes ativos do Essential desestabilizam a membrana dos protozoários e das bactérias gram-positivas de forma semelhante aos ionóforos. O óleo de caju também tem uma ação inibitória à resistência das bactérias a certos antibióticos (KUBO et al., 1993; MUROI et al., 2004). Portanto, teoricamente seria muito difícil desenvolver resistências ao Essential.

2.4 Considerações

Curtos períodos de fornecimento de óleos funcionais são suficientes para promover alteração nos padrões de fermentação. Porém, melhoria no desempenho provavelmente demandem maior período de fornecimento (KHIAOSA-ARD; ZEBELI, 2013).

Embora seja verificada a diminuição da produção de metano, amônia e diversidade de bactérias metanogênicas, bem como alterações do perfil fermentativo, o uso de um componente ativo isolado não promove o mesmo efeito que dois ou mais componentes em combinação, sendo que o efeito dos combinados geralmente supera a soma dos efeitos isolados, indicando a ocorrência de sinergismo na atuação de OF no ambiente ruminal.

São necessários mais estudos *in vitro* para determinação de potenciais agentes, mais estudos *in vivo* e de longo prazo, para conhecer as interações com o desempenho e segurança alimentar. No entanto, esta seleção de OF deve ser cautelosa, uma vez que a dose ou mesmo substrato podem afetar o potencial de ação do OF na modulação do perfil fermentativo.

A genômica é um ramo da ciência que estuda os padrões genéticos peculiares de um organismo e que possam ser mapeados no DNA ou genoma de uma espécie (KRAUSE et al., 2003). Esta ferramenta depende da existência de genomas sequenciados. Com os avanços da bioinformática, que permitam a análise de grandes quantidades de dados e a evolução das técnicas moleculares como a

proteômica, grandes avanços vêm sendo realizados nos estudos de microbiologia, contribuindo para desvendar a complexidade de eventos e processos que compõe o ecossistema ruminal.

Com a sofisticação da nutrição animal e o refinamento dos métodos de processamento de alimentos e formulação de rações, bem como maior cuidado na parte de saúde e bem estar animal, novas ferramentas como os óleos funcionais, bem como as enzimas exógenas, representam a nova geração de produtos melhoradores do desempenho animal. Por se tratarem de produtos naturais, os óleos funcionais podem ser usados sem os riscos atribuídos aos antibióticos. O desenvolvimento de produtos estáveis, economicamente viáveis e de conhecidas interações com a categoria e produção animal, dieta utilizada e tempo de fornecimento são os desafios para a ciência dentro dos próximos anos.

Referências

ACAMOVIC, T.; BROOKER, J.D. Biochemistry of plant secondary metabolites and their effects in animals. **The Proceedings of the Nutrition Society**, London, v. 64, n. 3, p. 403-412, 2005.

ADETUMBI, M.; JAVOR, G.T.; LAU, B.H. Allium sativum (garlic) inhibits lipid synthesis by *Candida albicans*. **Antimicrob Agents Chemother**, Washingon, v. 30, p. 499-501, 1986.

AMORATI, R.; PEDULLI, G.F.; VALGIMIGLI, L.; ATTANASI, O.A.; FILIPPONE, P.; FIORUCCI, C.; SALADINO, R. Absolute rate constants for the reaction of peroxyl radicals with cardanol derivatives. **Journal of Chemistry Society**. Perkin Trans. v. 2, p. 2142-2146, 2001.

APPUHAMY, J.A.D.R. N.; STRATHE, A.B.; JAYASUNDARA, S.; WAG- NER-RIDDLE, C.; DIJKSTRA, J.; FRANCE, J.; KEBREAB, E. Anti- methanogenic effects of monensin in dairy and beef cattle: A meta-analysis. **Journal of Dairy Science**. Champaign, v. 96, p. 5161–5173, 2013.

BAKER, S.K. Rumen methanogens and inhibition of methanogenesis. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 50, n. 8, p. 1293-1298, 1999.

BARTON, M.D. Antibiotic use in animal feed and its impact on human health. **Nutrition Research Reviews***,* Cambridge, v. 13, p. 279-299, 2000.

BEAUCHEMIN, K.A.; McGINN, S.M. Methane emissions from beef cattle: effects of fumaric acid, essential oil, and canola oil. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 84, p. 1489–1496, 2006.

BENCHAAR, C.; CALSAMIGLIA, S.; CHAVES, A.V.; FRASER, G.R.; COLOMBATTO, D.; McALLISTER, T.A.; BEAUCHEMIN, K.A. A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. **Animal Feed Science and Technology**, Toronto, v. 145, p. 209-228, 2008.

BERGEN, W.G.; BATES, D.B. Ionophores: their effect on production efficiency and mode of action. **Jounal of Animal Science**, Albany, v. 58, p. 1465-1483, 1984.

BURT S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods: a review. **International Journal of Food Microbiology,** Washington**,** v. 94, p. 223–253, 2004.

BUSQUET, M.; CALSAMIGLIA, S.; FERRET, A.; CARDOZO, P.W.; KAMEL, C. Effects of cinnamaldehyde and garlic oil on rumen microbial fermentation in a dual flow continuous culture. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 88, p. 2508-2516, 2005a.

_____. Effect of garlic oil and four of its compounds on rumen microbial fermentation. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 88, n. 12, p. 4393-4404, 2005b.

CALSAMIGLIA, S.; BUSQUET, M.; CARDOZO, P.; CASTILLEJOS, L.; FERRET, A. Essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation: a review. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, p. 2580-2595, 2007.

CARDOZO, P.W.; CALSAMIGLIA, S.; FERRET, A.; KAMEL, C. Effects of natural plant extracts on ruminal protein degradation and fermentation profiles in continuous culture. **Journal of Animal Science,** Albany, v. 82, p. 3230-3236, 2004.

_____. Effects of alfalfa extract, anise, capsicum, and a mixture of cinnamaldehyde and eugenol on ruminal fermentation and protein degradation in beef heifers fed a high-concentrate diet. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 84, p. 2801-2808, 2006.

CASADEI, E.; BRUHEIM, S.; LATIS, T. Princípios activos da casca da castanha de caju com ação moluscocida: possível emprego no programa de luta contra a esquistossomose. **Revista Médica de Moçambique**, Maputo, v. 2, p. 35-39, 1984.

CASTILLEJOS, L.; CALSAMIGLIA, S.; FERRET, A.; LOSA, R. Effects of a specific blend of essential oil compounds and the type of diet on rumen microbial fermentation and nutrient flow from a continuous culture system. **Animal Feed Science and Technology**, Toronto, v. 119, p. 29–41, 2005.

CASTILLEJOS, L.; CALSAMIGLIA, S.; MARTIN-TERESO, J.; TER WIJLEN, H. In vitro evaluation of effects of ten essential oils at three doses on ruminal fermentation of high concentrate feedlot-type diets. **Animal Feed Science and Technology**, Toronto, v. 145, p. 259–270, 2008.CHALUPA, W.; CORBETT, W.; BRETHOUR, J.R. Effects of monensin and amicloral on rumen fermentation**. Journal of Animal Science,** Albany, v. 51, p. 170-179, 1980.

CHANG, S.T.; CHEN, P.F.; CHANG, S.C. Antibacterial activity of leaf essential oils and their constituents from Cinnamomum osmophloeum. **Journal of Ethnopharmacology**, Lausanne, v. 77, p. 123-127, 2001.

CHAVES, A.V.; HE, M.L.; YANG, W.Z.; HRISTOV, A.N.; McALLISTER, T.A.; BENCHAAR, C. Effects of essential oils on proteolytic, deaminative and methanogenic activities of mixed ruminal bacteria. **Canadian Journal of Animal Science**, Alberta, v. 88, n. 1, p. 117-122, 2008.

CHU, S.; HAWES, J.W.; LORIGAN, G.A. Solid-state NMR spectroscopic studies on the interaction of sorbic acid with phospholipid membranes at different pH levels. **Magnetic Resonance in Chemistry**, Berlin, v. 47, p. 8, 2009.

CRUMB, D.J. Conjugated linoleic acid (CLA): an overview. **International Journal of Applied Research in Natural Products**, San Marcos, v. 4, p. 12–18, 2011.

CONEGLIAN, S.M. **Uso de óleos essenciais de mamona e caju em dietas de bovinos**. 2009. 101 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

COX, S.D.; MANN, C.M.; MARKHAM, J.L.; BELL, H.C.; GUSTAFSON, J.E.; WARMINGTON, J.R.; WYLLIE, S.G. The mode of antimicrobial action of essential oil of *Melaleuca alternifola* (tea tree oil). **Journal of Applied Microbiology**, Oxford, v. 88, p. 170–175, 2000.

CROSS, D.E.; McDEVITT, R.M.; HILLMAN, K.; ACAMOVIC, T. The effect of herbs and their associated essential oils on performance, dietary digestibility and gut microflora in chickens from 7 to 28 days of age, **British Poultry Science**, London, v. 48, n. 4, p. 496-506, 2007.

DARTT, R.M.; BOLING, J.A.; BRADLEY, N.W. Supplemental protein withdrawal and monensin in corn silage diets of finishing steers**. Journal of Animal Science,** Albany, v. 46, p. 345-349, 1978.

DEANS, S.G.; RITCHIE, G. Antibacterial properties of plant essential oils. **International Journal of Food Microbiology**, Rome, v. 5, p. 165–180, 1987.

DONOHO, A.L. Biochemical studies on the fate of monensin in animals and in the environment. **Journal of Animal Science,** Albany, v. 58, p. 1528-1539, 1984.

DORMAN, H.J.D.; DEANS, S.G. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. **Journal of Applied Microbiology**, Oxford, v. 88, n. 2, p. 308-316, 2000.

ELGAYYAR, M.; DRAUGHON, F.A.; GOLDEN. D.A.; MOUNT, J.R. Antimicrobial activity of essential oils from plants against selected pathogenic and saprophytic microorganisms. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 64, p. 1019-1024, 2001.

FELDBERG, R.S.; CHANG, S.C.; KOTIK, A.N.; NADLER, M.; NEUWIRTH, Z.; SUNDSTROM, D.C.; THOMPSON, N.H. *In vitro* mechanism of inhibition of bacterial cell growth by allicin. **Antimicrobial Agents and Chemotherapy**, Washington, v. 32, n. 12, p. 1763-1768, 1988.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. **Guidance for industry:** frequently asked questions about GRAS. 2004. Disponível em: <http://www.fda.gov/food/guidanceregulation/guidance documentsregulatoryinformation/ucm061846.htm>. Acesso em: 08 jan. 2015.

FULLER, J.R.; JOHNSON, D.E. Monensin and lasalocid effects on fermentation in vitro. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 53, n. 6, p. 1440-1445, 1981.

GIANNENAS, I.; SKOUFOS, J.; GIANNAKOPOULOS, C.; WIEMANN, M.; GORTZI, O.; LALAS, S.; KYRIAZAKIS, I. Effects of essential oils on milk production, milk composition, and rumen microbiota in Chios dairy ewes. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 94, n. 11, p. 5569-5577, 2011.

GILL, A.O.; HOLLEY, R.A. Mechanisms of bactericidal action of cinnamaldehyde against *Listeria monocytogenes* and of eugenol against *L. monocytogenes* and *Lactobacillus sakei*. **Applied and Environmental Microbiology**, Oxford, v. 70 p. 5750-5755, 2004.

GRAZZINI, R.; HESK, D.; HEIMINGER, E.; HILDENBRANDT, G.; REDDY, C.C.; COX-FOSTER, D.; MEDFORD, J.; CRAIG, R.; MUMRNA, R.O. Biochemistry. **Biophysical Research Communications,** Amsterdam, v. 176, p. 775-780, 1991.

GUAN, H.; WITTENBERG, K.M.; OMINSKI, K.H.; KRAUSE, D.O. Efficacy of ionophores in cattle diets for mitigation of enteric methane. **Journal of Animal Science,** Albany, v. 84, p. 1896-1906, 2006.

GUNAL, M.; ISHLAK, A.; ABUGHAZALEH, A.A. Evaluating the effects of six essential oils on fermentation and biohydrogenation in in vitro rumen batch cultures. **Czech Journal of Animal Science**, Praha, v. 558, n. 6, p. 243–252, 2013.

GUNTHER, E. **The essential oils.** New York: D. Van Nostrand, 1948. v. 1, 427 p.

GUSTAFSON, J.E.; LIEW, Y.C.; CHEW, S.; MARKHAM, J.L.; BELL, H.C.; WYLLIE, S.G.; WARMINGTON, J.R. Effects of tea tree oil on *Escherichia coli*. **Letters in Applied Microbiology**, Bedford, v. 26, p. 194–198, 1998.

HAMMER, K.A.; CARSON, C.F.; RILEY, T.V. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. **Journal of Applied Microbiology**, Oxford, v. 86, p. 985–990, 1999.

HATFIELD, R.; VERMERRIS, W. Lignin formation in plants. The dilemma of linkage specificity. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 126, p. 1351-1357, 2001.

HELANDER, I.M.; ALAKOMI, H.L.; LATVA-KALA, K.; MATTILA-SANDHOLM, T.; POL, I.; SMID, E.J.; GORRIS, L.G.M.; VON WRIGHT, A. Characterization of the

action of selected essential oil components on Gram-negative bacteria. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 46, p. 3590–3595, 1998.

HIMEJIMA M.; KUBO, I. Antibacterial agents from the cashew *Anacardium-occidentale* (Anacardiaceae) nut shell oil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 39, p. 418,1991.

HOOK, S.E.; WRIGHT, A.D.G.; MCBRIDE, B.W. Methanogens: methane producers of the rumen and mitigation strategies. **Hindawi Publishing Corporation**, New York, v. 2010, p. 1-11, 2010.

HORTON, G.M.J.; BASSENDOWSKI, K.A.; KELLER, E.H. Digestion and metabolism in lambs and steers fed monensin with different levels of barley. **Journal of Animal Science,** Albany, v. 50, p. 997-1008, 1980.

HRISTOV, A.N.; IVAN, M.; RODE, L.M.; McALLISTER, T.A. Fermentation characteristics and ruminal ciliate protozoal populations in cattle fed medium- or high-concentrate barley diets. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 79, p. 515–524, 2001.

HUNGATE, R.E. The anaerobic mesophilic cellulolytic bacteria. **Bacteriological Reviews**, Washington, v. 14, n. 1, p. 1, 1950.

IMAI, H.; OSAWA, K.; YASUDA, H.; HAMASHIMA, H.; ARAI, T.; SASATSU, M. Inhibition by the essential oils of peppermint and spearmint of the growth of pathogenic bacteria. **Microbios,** Cincinnati, v. 106, suppl. 1, p. 31-39, 2001

JANSSEN, A.M.; SCHEFFER, J.J.C.; BAERHEIM SVENDSEN, A. Antimicrobial activity of essential oils: a 1976–86 literature review. Aspects of the test methods. **Planta Medica**, Oxford, v. 53, p. 395 398, 1987.

JOHNSON, D.E.; WARD, G.M.B. Estimates of animal methane emissions. **Environmental Monitoring and Assessment**, Portland, v. 42, n. 1, p. 133–141, 1996.

JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E. Methane emissions from cattle. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 73, p. 2483-2492, 1995.

KEBREAB, E.; CLARK, K.; WAGNER-RIDDLE, C.; FRANCE, J. Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture: a review. **Canadian Journal of Animal Science**, Toronto, v. 86, n. 2, p. 135–158, 2006.

KHIAOSA-ARD, R.; ZEBELI, Q. Meta-analysis of the effects of essential oils and their bioactive compounds on rumen fermentation characteristics and feed efficiency in ruminants. **Journal of Animal Science,** Albany, v. 91, p. 1819–1830, 2013.

KLEVENHUSEN, F.; MURO-REYES, A.; KHIAOSA-ARD, R.; METZLER- ZEBELI, B.U.; ZEBELI, Q. A meta-analysis of effects of chemical composition of incubated diet and bioactive compounds on in vitro ruminal fermentation. **Animal Feed Science and Technology**, Toronto, v. 176, p. 61–69, 2012.

KNOBLOCH, K.; PAULI, A.; IBERL, B.; WEIGAND, H.; WEIS, N. Antibacterial and antifungal properties of essential oil components. **Journal of Essential Oil Research**, London, v. 1, p. 119– 128, 1989.

KOHLERT, C.; VAN RENSEN, I.; MARZ, R. Bioavailability and pharmokinetics of natural volatile terpenes in animal and humans. **Planta Medica,** Oxford**,** v. 66, p. 495-505, 2000.

KONDO, T.; YOSHIDA, K.; NAKAGAWA, A.; KAWAI, T.; TAMURA, H.; GOTO, T. Structural basis of blue-color development in flower plants from *Commelina communis*. **Nature**, London, v. 358, p. 515-518, 1992.

KRAUSE, D.O.; DENMAN, S.E.; MACKIE, R.I; MORRISON, M.; RAE, A.L.; ATTWOOD, G.T.; McSWEENEY, C.S. Opportunities to improve fiber degradation in the rumen: microbiology, ecology, and genomics. FEMS. **Microbiology Reviews**, Oxford, v. 27, p. 663-693, 2003.

KUBECZKA, K. History and Sources of essential oil research. In BASER, C.H.C.; BUCHBAUER, G. **Handbook of essential oils:** science, technology, and applications. Boca Raton: CRC Press, 2010. p. 3-38.

KUBO, I.; KOMATSU, S.; OCHI, M. Molluscicides from the cashew *Anacardium occidentale* and their large-scale isolation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 34, p. 970-973, 1986.KUBO, I.; MUROI, H.; KUBO, A. Naturally occurring antiacne agents. **Journal of Natural Products**, Amsterdam, v. 57, p. 9-17, 1994.

KUBO, I.; OCHI, M.; VIEIRA, P.C.; KOMATSU, S. Antitumor agents from the cashew *Anacardium occidentale* apple juice **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 41, p. 1012-1015, 1993.

KUBO, I.; KIM, M.; NAYA, K.; KOMATSU, S.; YAMAGIWA, Y.; OHASHI, K.; SAKAMOTO, Y.; HIRAKAWA, S.; KAMIKAWA, T. Prostaglandin synthetase inhibitors from an African medicinal plant *Ozoroamucronata*. **Chemistry Letters**, Tokyo, v. 16, n. 6, p. 1101-1104, 1987.

KUBO, J.; LEE, J. R.; KUBO, I. Anti-*Helicobacter pylori* agents from the cashew apple. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 47, p. 533-537, 1999.

KUNG, L. JR.; WILLIAMS, P.; SCHMIDT, R.J.; HU, W. A blend of essential plant oils used as an additive to alter silage fermentation or used as a feed additive for lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 91, p. 4793–4800, 2008.

LAMBERT, R.J.W.; SKANDAMIS, P.N.; COOTE, P.; NYCHAS, G.J.E. A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol. **Journal of Applied Microbiology**, Oxford, v. 91, p. 453–462, 2001.

LANA, R.P.; RUSSELL, J.B.; Van AMBURGH, M.E. The role of pH in regulating ruminal methane and ammonia production. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 76, p. 2190-2196, 1998.

LLOYD, H.A.; DENNY, C.; KRISHNA, G. A simples liquid chromatographic method for analysis and isolation of the unsaturated components of anacardic acid. **Journal of Liquid Chromatography**, Philadelphia, v. 3, p. 1497-1504, 1980.

MACHEBOEUF, D.; MORGAVI, D.P.; PAPON, Y.; MOUSSET, J.L.; ARTURO-SCHAAN, M. Dose-response effects of essential oils on in vitro fermentation activity of the rumen microbial population. **Animal Feed Science and Technology**, Toronto, v. 145, p. 335–350, 2008.

MALECKY, M.; BROUDISCOU, L.P.; SCHMIDELY, P. Effects of two levels of monoterpene blend on rumen fermentation, terpene and nutrient flows in the duodenum and milk production in dairy goats. **Animal Feed Science and Technology**, Toronto, v. 154, p. 24–35, 2009.

MAZZETTO, S.E.; LOMONACO, D. Óleo da castanha de caju: oportunidades e desafios no contexto do desenvolvimento e sustentabilidade industrial. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 732-741, 2009.

McCARTHY, F.D.; BERGEN, W.G.; HAWKINS, D.R. Protein sparing effect and performance of growing: finishing steers fed monensin. **Journal of Animal Science,** Albany, v. 49, suppl. 1, p. 79, 1979.

McGUFFEY, R.K.; RICHARDSON, L.F.; WILKINSON, J.I.D. Ionophores for dairy cattle: current status and future outlook. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 84, suppl. E, p. E194-E203, 2001.

McINTOSH, F.M.; WILLIAMS, P.; LOSA, R.; WALLACE, R.J.; BEEVER, D.A.; NEWBOLD, C.J. Effects of essential oils on ruminal microorganisms and their protein metabolism. **Applied and Environmental Microbiology**, Oxford, v. 60, p. 5011–5014, 2003.

MENGER, F.M.; LEE, J.J; HAGEN, K.S. Molecular laminates: three distinct crystal packing modes. **Journal of the American Chemical Society**, Amsterdam, v. 113, p. 4017-4019, 1991.

MILLEN, D.D.; PACHECO, R.D.L.; ARRIGONI, M.D.B.; GALYEAN, M.L.; VASCONCELOS, J.T. A snapshot of management practices and nutritional recommendations used by feedlot nutritionists in Brazil. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 87, n. 10, p. 3427-3439, 2009.

MUROI, H.; NIHEI, K.; TSUJIMOTO, K.; KUBO, I. Synergistic effects of anacardic acids and methicillin against methicillin resistant *Staphylococcus aureus*. **Bioorganic and Medicinal Chemistry**, Amsterdam, v. 12, p. 583–587, 2004.

NAGABHUSHSA, K.S.; ASH, V.N.; OBHA; RAVINDRANATH, V. Selective ionophoric properties of anacardic acid. **Journal of Natural Products**, Washington, v. 58, n. 5, p. 807-810, 1995.

NAGY, J.G.; TENGERDY, R.P. Antibacterial action of essential oils of *Artemisia* as an ecological factor II. Antibacterial action of the volatile oils of *Artemisia tridentata* (big sagebrush) on bacteria from the rumen of mule deer. **Journal of Applied Microbiology,** Bedford, v. 16, p. 441-444, 1968.

NAM, I.S.; GARNSWORTHY, P.C.; AHN, J.H. Supplementation of essential oil extracted from citrus peel to animal feeds decreases microbial activity and aflatoxin contamination without disrupting in vitro ruminal fermentation. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Seul, v. 19, n. 11, p. 1617–1622, 2006.

NOIROT, V.; MONCOULON, R.; SAUVANT, D.; BAYOURTHE, C. Effect of essential oils and essential oils compounds supplementations in ruminant species: statistical analysis. **Revue de Médecine Vétérinaire**, Toulouse, v. 158, p. 589–597, 2007.

OH, H.K.; JONES, M.B.; LONGHURST, W.M. Comparison of rumen microbial inhibition resulting from various essential oils isolated from relatively unpalatable plant species. **Applied and Environmental Microbiology**, Oxford, v. 16, n. 1, p. 39-44, 1968.

OHENE-ADJEI, S.; TEATHER, R.M.; IVAN, M.; FORSTER, R.J. Postinoculation protozoan establishment and association patterns of methanogenic archaea in the ovine rumen. **Applied and Environmental Microbiology**, Oxford, v. 73, p. 4609-4618, 2007.

OHENE-ADJEI, S; CHAVES, A.V.; McALLISTER, T.A.; BENCHAAR, C.; TEATHER, R.M.; FORSTE, R.J. Evidence of increased diversity of methanogenic archaea with plant extract supplementation. **Microbiology Ecology**, Ljubjana, v. 56, p. 234-242, 2008.

OLIVEIRA, C.A.; MILLEN, D.D. Survey of the nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists in Brazil. **Animal Feed Science and Technology**, Okotoks, v. 197, p. 64–75, 2014.

OOSTERHAVEN, K.; POOLMAN, B.; SMID, E.J. S-carvone as a natural potato sprout inhibiting, fungistatic and bacteriostatic compound. **Industrial Crops and Products**, Maastricht, v. 4, p. 23–31, 1995.

PATRA, K.A.; YU, Z. Effects of essential oils on methane production and fermentation by, and abundance and diversity of, rumen microbial populations. **Applied and Environmental Microbiology**, Oxford, v. 78, n. 12, p. 4271–4280, 2012.

PATRA, A.K. Effects of essential oils on rumen fermentation, microbial ecology and ruminant production. **Asian Journal of Animal and Veterinary Advances**, New York, v. 6, p. 416–428, 2011.

PATRA, A.K.; SAXENA, J. A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in ruminants. **Phytochemistry**, London, v. 71, p. 1198–1222, 2010.

PATRA, A.K.; KAMRA, D.N.; AGARWAL, N. Effects of extracts of spices on rumen methanogenesis, enzyme activities and fermentation of feeds in vitro. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 90, p. 511–520, 2010.POOS, M.I.; HANSON, T.L.; KLOPFENSTEIN, T.J. Monensin effects on diet digestibility, ruminal protein bypass and microbial protein synthesis. **Journal of Animal Science,** Albany, v. 48, p. 1516-1524, 1979.

PRESSMAN, B.C. Biological applications of ionophores. **Annual Review of Biochemistry,** Palo Alto, v. 45, p. 501-530, 1976.

REIS, R.A.; MORAIS, J.A.S.; SIQUEIRA, G.R. Aditivos alternativos para a alimentação de Ruminantes. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE NUTRIÇÃO ANIMAL, 2., 2006, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CBNA, 2006. p. 1-40.

ROGERS, J.A.; DAVIS, C.L. Rumen volatile fatty acid production and nutrient utilization in steers fed a diet supplemented with sodium bicarbonate and monensin. **Journal of Dairy Science,** Lancaster, v. 65, n. 6, p. 944-952, 1982.

ROSS, Z.M.; O'GARA, E.A.; HILL, D.J.; SLEIGHTHOLME, H.V.; MASLIN, D.J. Antimicrobial properties of garlic oil against human enteric bacteria: evaluation of methodologies and comparisons with garlic oil sulfides and garlic powder. **Applied and Environmental Microbiology**, Oxford, v. 67, p. 475–480, 2001.

RUSSELL, J.B.; HOULIHAH, A.J. Ionophore resistance of ruminal bacteria and its potential impact on human health. **Microbiology Reviews,** Amsterdam, v. 27, p. 65-74, 2006.

RUSSELL, J.B.; STROBEL, H.J. Effect of ionophores on ruminal fermentation. **Applied and Environmental Microbiology**, Baltimore, v. 55, p. 1-6, 1989.

RUSSELL, J.B.; ONODERA, R.; HINO, T. Ruminal protein fermentation: new perspectives on previous contradictions. In: TSUDA, T.; SASAKI, Y.; KAWASHIMA, R. (Ed.). **Physiological aspects of digestion and metabolism in ruminants.** San Diego: Academic Press, 1991. p. 681-697.RUSSELL, J.B.; STROBEL, H.J.; CHEN, G. Enrichment and isolation of a ruminal bacterium with a very high specific activity of ammonia production. **Applied and Environmental Microbiology**, Baltimore, v. 54, p. 872-877, 1988.

SANDBERG, S.L.; BERENBAUM, M.R. Leaf-tying by tortricid larvae as an adaptation for feeding on phototoxic *Hypericum perforatum*. **Journal of Chemical Ecology**, Philadelphia, v. 15, p. 875-886, 1989.

SANTOS, M.B.; ROBINSON, P.H.; WILLIAMS, P.; LOSA, R. Effects of addition of an essential oil complex to the diet of lactating dairy cows on whole tract digestion of nutrients and productive performance. **Animal Feed Science and Technology**, Calgary, v. 157, p. 64–71, 2010.

SCHELLING, G.T. Monensin mode of action in the rumen. **Journal of Animal Science,** Albany, v. 61, p. 1518-1527, 1984.

SHOBHA, S.V.; RAVINDRANATH, B. Supercritical carbon dioxide and solvent extraction of the phenolic lipids of cashew nut (*Anacardium occidentale*) shells. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 39, p. 2214, 1991.

SHOBHA, S.V.; RAMADOSS, C.S.; RAVINDRANATH, B. Regiospecific hydroperoxidation of anacardic acid (15:2) by soybean lipoxygenase 1. **Journal of Natural Products**, Washington, v. 55, p. 818–882, 1992.

_____. Inhibition of soybean lipoxygenase- 1 by anacardic acids, cardols, and cardanols, **Journal of Natural Products**, Washington, v. 57, p. 1755-1757, 1994.SIKKEMA, J.; DE BONT, J.A.M.; POOLMAN, B. Interactions of cyclic hydrocarbons with biological membranes. **Journal of Biological Chemistry**, Rockville, v. 269, n. 11, p. 8022–8028, 1994.

SOLIVA, C.R.; AMELCHANKA, S.L.S.L.; DUVAL, S.M.; KRUZER, M. Ruminal methane inhibition potential of various pure compounds in comparison with garlic oil as determined with a rumen simulation technique (Rusitec). **British Journal of Nutrition,** London, v. 106, p. 114–122, 2011.

SOLTAN, M.A.E.-K.; SHEWITA, R.S.; AL-SULTAN, S.I. Influence of essential oils supplementation on digestion, rumen fermentation, rumen microbial populations and productive performance of dairy cows. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Montreal, v. 3, p. 1–12, 2009.

SPEARS, J.W. Ionophores and nutrient digestion and absorption in ruminants.**The Jounal of Nutrition**, Bethesda, v. 117, p. 632-638, 1990.

STEWART, C.S.; FLINT, H.J.; BRYANT, M.P. The rumen bacteria. In: HOBSON, P.N.; STEWART, C.S. (Ed.). **The rumen microbial ecosystem**. London: Chapman & Hall, 1997. p. 10-72.

TALEBZADEH, D.; ALIPOUR, D.; SAHARKHIZ, M.J.; AZARFAR, A.; MALECKY. Effects of essential oils of *Zataria multiflora* on *in vitro* rumen fermentation, protozoal population, growth and enzyme activity of anaerobic fungus isolated from Mehraban sheep. **Animal Feed Science and Technology**, Toronto, v. 172, p. 115–124, 2012.

TASSOUL, M.D.; SHAVER, R.D. Effect of a mixture of supplemental dietary plant essential oils on performance of periparturient and early lactation dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Montréal, v. 92, p. 1734–1740, 2009.

TEDESCHI, L.O.; FOX, D.G.; TYLUTKI, T.P. Environmental benefits of ionophores in ruminant diets. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 32, p. 1591-1602, 2003.

THOROSKI, J.; BLANK, G.; BILIADERIS, C. Eugenol induced inhibition of extracellular enzyme production by Bacillus cereus. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 52, n. 6, p. 399– 403, 1989.

TRAPP, S.C.; CROTEAU, R.B. Genomic organization of plant terpene synthases and molecular evolutionary implications. **Genetics**, Bethesda, v. 158, p. 811–832, 2001.

TREVISAN, M.T.S.; PFUNDSTEIN, B.; HAUBNER, R.; WÜRTELE, G.; SPIEGELHALDER, B.; BARTSCH, H.; OWEN, R.W. Characterization of alkyl phenols in cashew (*Anacardium occidentale*) products and assay of their antioxidant capacity . **Food and Chemical Toxicology**, Amsterdam, v. 44, n. 2, p. 188-197, 2006.

ULTEE, A.; SMID, E.J. Influence of carvacrol on growth and toxin production by *Bacillus cereus*. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 64, p. 373–378, 2001.

ULTEE, A.; KETS, E.P.W.; SMID, E.J. Mechanisms of action of carvacrol on the foodborne pathogen Bacillus cereus. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 65, n. 10, p. 4606-4610, 1999.

VAKILI, A.R.; KHORRAMI, B.; DANESH-MESGARAN, M.; PARAND, E. The effects of thyme and cinnamon essential oils on performance, rumen fermentation and blood metabolites in holstein calves consuming high concentrate diet. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Seoul, v. 26, n. 7, p. 935-944, 2013.

VAN NEVEL, C.J.; DEMEYER, I. Effect of monensin on rumen metabolism in vitro. **Applied and Environmental Microbiology**, Baltimore, v. 34, p. 251-257, 1977.

VASCONCELOS, J.T.; GALYEAN, M.L. Nutritional recommendations of feedlot consulting nutritionists: the 2007 Texas Tech University survey. **Journal of Animal Science**, San Antonio, v. 85, p. 2772–2781, 2007.

VIEIRA, C.; FETZER, S.; SAUER, S.K.; EVANGELISTA, S.E.; AVERBECK, B.; KRESS, M.; REEH, P.W.; CIRILLO, R.; LIPPI, A.; MAGGI, C.A.; MANZINI, S. Pro- and anti-inflammatory actions of ricinoleic acid: similarities and differences with capsaicin. Naunyn-Schmiedeberg's. **Archives of Pharmacology**, Secaucus, v. 364, p. 87–95, 2001.

WALLACE, R.J.; COLOMBATTO, D.; ROBINSON, P.H. Enzymes, direct-fed microbials and plant extracts in ruminant nutrition. **Animal Feed Science and Technology**, Calgary, v. 145, p. 1-4, 2008.

WALLACE, R.J.; MCEWAN, N.R.; MCINTOSH, F.M.; TEFEREDEGNE, T.; NEWBOLD, C.J. Natural products as manipulators of rumen fermentation. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Seoul, v. 15, n. 10, p. 1458-1468, 2002.

WANG, C.J.; WANG, S.P.; ZHOU, H. Influences of flavomycin, ropadiar, and saponin on nutrient digestibility, rumen fermentation, and methane emission from sheep. **Animal Feed Science and Technology,** Toronto, v. 148, p. 157–166, 2009.

WATSON, L.; DALLWITZ, M.J. **The families of flowering plants descriptions, illustrations, identification information retrival.** Disponível em: <http://delta-intkey.com>. Acesso em: 01 nov. 2010.

WEDEGAERTNER, T.C.; JOHNSON, D.E. Monensin effects on digestibility, methanogenesis and heat increment of a cracked corn-silage diet fed to steers. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 57, p.168-177, 1983.

WEDEKIN, V.S.P.; AMARAL, A.M.P. Confinamento de bovinos em 1991. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 21, p. 9-18, 1991.

WOLIN, M.J. A theoretical rumen fermentation balance. **Journal of Dairy Science,** Lancaster, v. 43, p. 1452-1459, 1960.

WRIGHT, A.D.; WILLIAMS, A.J.; WINDER, B.; CHRISTOPHERSEN, C.T.; RODGERS, S.L.; SMITH, K.D. Molecular diversity of rumen methanogens from sheep in Western Australia. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 70, n. 39, p. 1263-1270, 2004.

YANAGITA, K.; KAMAGATA, Y.; KAWAHARASAKI, M.; SUZUKI, T.; NAKAMURA, Y.; MINATO, H. Phylogenetic analysis of methanogens in sheep rumen ecosystem and detection of *Methanomicrobium* mobile by fluorescence in situ hybridization. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry** Tokyo, v. 64, p. 1737-1742, 2000.

ZAWADZKI, F.; FUGITA, C.A.; SILVA, L.G.; SESTARI, B.B.; TORECILHAS, J.A.; PEROTTO, D.; OLIVEIRA, M.G.; MICHELLON, G.; ORNAGHI, M.G.; PRADO, I.N. Glicerol e óleos essenciais na dieta de bovinos não castrados precoces Purunã terminados em confinamento sobre o desempenho e ingestão de alimentos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 47., 2010, Salvador. **Anais**... Salvador: SBZ, 2010. 1 CD-ROM.

ZEBELI, Q.; ASCHENBACH, J.R.; TAFAJ, M.; BOGUHN, J.; AMETAJ, B.N.; DROCHNER, W. Invited review: role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. **Journal of Dairy Science**. Champaign, v. 95, p. 1041–1056, 2012.

ZHOU, F.; JI, B.; ZHANG, H.; JIANG, H.; YANG, Z.; LI, J.; YAN, W. Synergistic effect of thymol and carvacrol combined with chelators and organic acids against *Salmonella typhimurium*. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 70, n. 7, p. 1704-1709, 2007.

3 DESEMPENHO E METABOLISMO RUMINAL DE BOVINOS NELORE EM TERMINAÇÃO RECEBENDO ÓLEOS FUNCIONAIS DE CAJU E MAMONA EM SUBSTITUIÇÃO OU COMBINAÇÃO COM MONENSINA SÓDICA EM DIETAS RICAS EM MILHO MOÍDO

Resumo

Para o experimento de desempenho foram utilizados 240 tourinhos da raça Nelore (338 ± 6kg), alojados por 124 dias em 40 baias, com o objetivo de comparar dieta base composta por 12% de feno de tyfton, 80 % de milho moído, 4% de farelo de soja, 2,5% de núcleo mineral e 1,5% de ureia, contendo monensina sódica e doses de extrato de caju e mamona. (T1 – Controle, que consistiu em uma dieta base, sem aditivos; T2 – dieta base com adição de monensina sódica na dose de 30 mg/kg MS; T3 – dieta base com adição de Essential® na dose de 300 mg/kg MS; e T4 – dieta base com adição de Essential® na dose de 500 mg/kg MS). A suplementação com óleo funcional melhorou o GPD e a eficiência alimentar e aumentou o CMS e PCf em comparação ao tratamento com monensina após 21 dias de confinamento. Entretanto, após 124 dias de confinamento a única diferença observada foi para CMS, menor para a monensina em relação aos demais tratamentos. Não foram verificadas diferenças para as características de carcaça, bem como para o desempenho as 124 dias. Aos 90 dias de confinamento, os animais recebendo monensina apresentaram maior tempo de alimentação que os demais tratamentos. No experimento de metabolismo foi verificado menor tempo de ruminação para os animais recebendo OF, porém todos os aditivos foram equivalentes. Não foi observado o efeito dos diferentes aditivos para CMS, digestibilidade da MS e comportamento alimentar. O uso de OF propiciou um pH mais elevado que a monensina e o tratamento controle. A proporção molar de acetato foi maior e a de propionato menor para o tratamento com OF, em comparação ao uso de monensina. Foi observado menor consumo de oxigênio por batimento pelos animais recebendo OF. No entanto, a produção de calor e de metano foi similar para todos os tratamentos. Não houve diferença para a produção assintótica de gás e *lag time* durante a fermentação *in vitro*. A suplementação com OF melhora o desempenho de bovinos na fase inicial do confinamento em relação ao não uso de aditivos ou ao uso de monensina sódica, porém essa vantagem não se mantêm ao longo do período total de confinamento.

Palavras-chave: Óleos essenciais; Caju; mamona; Adaptação

Abstract

Performance trial were conductes using 240 young Nellore bulls (338 ± 6 kg), housed by 124 days in 40 pens, in order to compare diet base composed of 12% of tyfton hay, 80% of ground corn, 4% soybean meal, 2.5% mineral mixture and 1.5% of urea, and functional oils or monensin. The treatments were: Control, which consisted of a basal diet without additives; Monensin, the basal diet with addition of sodium monensin (30mg / kg DM); FO 300, the basal diet added Essential® (300mg / kg DM); and FO 500, the basal diet added Essential® (500mg / kg DM). Supplementation with

functional oil improved ADG and feed efficiency and increased the CMS and final body weight, compared to treatment with monensin after 21 days of feeding. However, after 124 days, the only difference observed was for DMI, lower for monensin compared to the other treatments. There were no differences for performance and carcass traits after 124 days. At 90th day of feedlot, the animals fed monensin presented feeding time higher than the other treatments. In the metabolism experiment was checked less rumination time for animals receiving FO, but all additives were equivalent. There was no effect of different additives to DMI, DM digestibility and feeding behavior. Using FO led to a higher pH than monensin and the control treatment. The mole ratio of acetate was higher and lower propionate for the FO treatments compared to monensin. It was observed lower oxygen consumption/heart beat to the animals receiving FO. However, heat and methane was similar for all treatments. There was no difference for the asymptotic gas production and lag time between treatments during in vitro fermentation. FO supplementation improves performance of feedlot cattle in the initial phase compared to non-use of additives or the use of monensin, but this advantage is not maintained over the total period of confinement.

Keywords: Essential oils; Cashew; Castor beans; Adaptation

3.1 Introdução

O uso de ionóforos na alimentação de bovinos é prática consagrada na redução de perdas metabólicas (BERGEN; BATES, 1987) geradas por ineficiência (produção de metano e perda de nitrogênio amoniacal) no processo fermentativo ou ainda na prevenção de distúrbios metabólicos, como a acidose (NAGARAJA; MILLER, 1989) e timpanismo (NAGARAJA; LENCHTENBERG, 2007). No entanto, por serem agentes antibióticos, seu mérito vem sofrendo críticas, decorrente das possíveis consequências do uso prolongado de antibióticos no desenvolvimento de microrganismos patogênicos resistentes a substâncias alopáticas da medicina humana. Na União Europeia, o uso de ionóforos foi banido desde janeiro de 2006. Esse fato tem estimulado a pesquisa com produtos alternativos para controle específico de populações microbianas a fim de modular a fermentação ruminal (BENCHAAR et al., 2008; PATRA; 2011; KHIAOSA-ARD; ZEBELI, 2013). No entanto, a utilização de aditivos alimentares antibióticos, visando maximizar a disponibilidade de energia e de proteína para os animais, através da otimização de características evolutivas intrínsecas dos ruminantes, como a síntese de proteína microbiana e produção de AGV, necessita de novas ferramentas alternativas que possam proporcionar resultados equivalentes. Além disso, o uso de aditivos na alimentação animal está relacionado à redução nas perdas de energia na forma de

metano e de calor (HRISTOV et al., 2013; BEAUCHEMIN; McGINN, 2006; OWENS et al., 1986) e de proteína na forma de amônia (McINTOSH et al., 2003), naturais do ambiente ruminal. Outro ponto importante do uso dos promotores de crescimento é o potencial em evitar distúrbios metabólicos, como acidose e timpanismo (NAGARAJA; LENCHTENBERG, 2007), que podem ter sua incidência aumentada quando bovinos em confinamento são submetidos à dietas com alta densidade energética. Dessa maneira, além do balanceamento adequado da dieta, o uso de estratégias e produtos não nutricionais na alimentação de bovinos torna-se cada vez mais uma ferramenta imprescindível na sustentabilidade do sistema. Plantas produzem vários compostos secundários, para se protegerem de insetos, animais, fungos ou bactérias. Princípios ativos de óleos extraídos de determinadas plantas podem interagir com a membrana celular microbiana e inibir o desenvolvimento de algumas bactérias gram-positivas e gram-negativas (BURT, 2004; HELANDER et al., 1998). Como resultado de tal inibição, a adição de alguns extratos de planta no rúmen tem resultado em aumento na concentração de propionato, redução na concentração relativa de acetato (GUNAL; ISHLAK; ABUGHAZALEH, 2013) e redução da produção de metano (BEAUCHEMIN; McGINN, 2006). Apesar do número considerável de trabalhos conduzidos nos últimos anos com óleos essenciais e óleos funcionais, a maioria são estudos "*in vitro*" e de curta duração, os produtos testados são muitas vezes misturas de diversos compostos e pouco se sabe sobre a dose ótima de cada mistura. Além disso, há a necessidade de se estudar possível adaptação dos microrganismos ruminais aos produtos e, finalmente, há poucos trabalhos publicados sobre o uso desses aditivos para bovinos de corte em confinamento (BENCHAAR et al., 2008; PATRA; 2011; KHIAOSA-ARD; ZEBELI; 2013).

Neste trabalho considerou-se a hipótese de que o *blend* de óleos funcionais de caju e mamona (Essential®) altera o metabolismo ruminal, promovendo alterações no perfil fermentativo e melhoria de eficiência alimentar dos animais suplementados.

O objetivo com o presente estudo foi avaliar o uso de óleos funcionais como aditivo alternativo ou em combinação com monensina sódica (Rumensin®), sobre o consumo de matéria seca, ganho de peso diário, eficiência alimentar, digestibilidade da matéria seca, características de carcaça, perfil de AGV, pH e amônia ruminais, e

produção de proteína microbiana, de animais zebuínos terminados em confinamento com dietas ricas em milho moído. Também foi verificada a produção de gás *in vitro* com o uso dos tratamentos aplicados no experimento de metabolismo.

3.2 Material e Métodos

Os procedimentos adotados nestes experimentos foram aprovados pela Comissão de Ética e Pesquisa com Uso de Animais (CEUA) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), Campus de Piracicaba, SP. Os experimentos foram conduzidos nas instalações de Bovinocultura de Corte do Departamento de Zootecnia da USP-ESALQ.

3.2.1 Experimento de desempenho

Foram utilizados 240 machos Nelore não castrados com peso vivo inicial médio de 338 ± 6kg, alojados em 40 baias (4 × 8 m) parcialmente cobertas, concretadas, alimentados com dieta base de milho moído contendo os aditivos monensina sódica, extrato de óleo de caju e mamona e a combinação de ambos os aditivos. O experimento teve início em janeiro de 2011 com duração de 1 dias. Os tratamentos foram: Controle, que consistiu em uma dieta base, sem aditivos; Monensina, dieta base com adição de monensina sódica (30mg/kg MS); OF 300, dieta base com adição de Essential® na dose de 300mg/kg MS; e OF 500, dieta base com adição de Essential® na dose de 500 mg/kg MS, como mostrado na Tabela 1. Todos os animais receberam uma dieta base, à qual foi adicionada os aditivos via núcleo mineral. A dieta base era composta por 12% de feno de tyfton, 80% de milho moído, 4% de farelo de soja, 2,5% de núcleo mineral e 1,5% de ureia.

Foram avaliados o consumo de matéria seca, ganho de peso diário, eficiência alimentar, características de carcaça (peso da carcaça quente, rendimento de carcaça, espessura de gordura e área de olho de lombo) e comportamento animal. Através dos dados de consumo de matéria seca (CMS) e ganho de peso diário (GPD) obtidos, foram calculados os valores de energia líquida das rações.

Tabela 1 - Ingredientes e composição bromatológica dietas a base de milho e aditivos alimentares, para avaliação do desempenho de machos Nelores em terminação.

(% da MS)	Tratamentos				Feno	Milho	F.Soja
	Controle	Monensina[1] 30 ppm	OF[2] 300ppm	OF 500ppm			
Feno de gramínea	12,0	12,0	12,0	12,0	-	-	-
Milho em grãos	80,6	80,6	80,6	80,6	-	-	-
Farelo de soja	4,0	4,0	4,0	4,0	-	-	-
Mineral	2,5	2,5	2,5	2,5	-	-	-
Uréia	0,9	0,9	0,9	0,9	-	-	-
Monensina (ppm)	-	30,0	-	-	-	-	-
OF (ppm)	-	-	300	500	-	-	-
	% MS				90,31	89,02	89,36
PB	13,02	13,12	13,06	13,00	13,70	8,42	51,10
MM	1,86	1,90	1,87	1,82	4,71	1,04	6,22
EE	1,05	1,19	1,21	1,40	1,29	3,56	2,08
FDN	18,50	18,23	18,48	18,31	76,04	10,72	16,33

[1] Monensina sódica 10% (Elanco - Rumensin®); [2] Produto comercial (Oligobasics - ESSENTIAL®), contendo óleos de rícino (ácido ricinoleico é o ácido graxo ativo) e óleo de caju (cardol e cardanol).

Os animais experimentais foram recriados em pastagem e, quando recebidos na ESALQ, foram alimentados com dieta rica em forragem por cinco dias. Após 16 horas de jejum alimentar, os animais foram pesados, vacinados contra clostridioses (Merial-Sintoxan®) e desverminados com vermífugo Albendazol 10% (OuroFino-Ricobendazole®) e receberam vitamina ADE (Vallée-Vallée Vita®). Os animais foram distribuídos em blocos casualizados de acordo com o peso vivo e alocados em 40 baias experimentais. Os animais foram adaptados às rações por 21 dias que foram incluídos no período experimental. As rações de adaptação continham os mesmos ingredientes da ração final, sendo inicialmente utilizados níveis de 40% de feno e 60% de concentrado. O teor de forragem foi reduzido em 10 unidades percentuais a cada 7 dias. Após os 21 dias de adaptação os animais passaram a receber a ração experimental com 12% de feno. Após a adaptação, decorreram-se mais 103 dias de alimentação com a dieta final.

Diariamente, às 08:00 horas, as dietas foram preparadas e fornecidas na forma totalmente misturada com uso de misturador equipado com balança eletrônica (CASALE-TotalMix 20). A quantidade de alimento fornecido foi ajustada diariamente para manter, no máximo, 3% de sobras. As sobras foram retiradas duas vezes por semana e pesadas e amostradas para determinação de MS (24 horas em estufa a 105°C) para avaliação do consumo por baia. Para esta avaliação, foi considerada a MS média do ofertado e a MS da sobra de cada baia.

Os animais foram pesados após jejum alimentar de 16 horas no início (dia 0) e fim (dia 102) do experimento. Foi realizada uma pesagem intermediária, aos 21 dias sem jejum, sendo adotado o fator de correção de 4% para efeito de enchimento. Foram adotados três subperíodos experimentais, para estimativa de ganho de peso, consumo e eficiência alimentar, a adaptação, o período total e o período total descontando-se a adaptação, para isolar o efeito de diluição pelo tempo.

Após o abate dos animais, foi determinado o rendimento de carcaça quente. As lesões e abcessos hepáticos foram contabilizados e mensurados com paquímetro (0,05mm de precisão) em dois diâmetros (maior e menor) perpendiculares. Após resfriamento por 24 horas a 0ºC, as meia-carcaças foram retiradas da câmara fria e serradas, em corte transversal, entre a 12ª e a 13ª costela, para expor o músculo *longissimus dorsi* para a medida de espessura de gordura, obtida no terceiro quarto da altura desse músculo a partir da coluna vertebral, e para a leitura da área de olho de lombo (AOL). As leituras de AOL foram obtidas utilizando-se uma transparência graduada em centímetros quadrados (grid LinBife, LUCHIARI FILHO, 2000) que foi fotografada para leitura em software para determinação da área total (ImageToll 3.0). A espessura de gordura foi mensurada com uso de paquímetro digital de precisão de 0,05 mm e também foram fotografadas para posterior verificação da medida, uma vez que foi utilizado um paquímetro analógico.

Antes do início do experimento, todos os ingredientes das rações foram amostrados e analisados para a formulação definitiva das dietas. Após o início do período experimental, todos os ingredientes foram amostrados semanalmente. Ao final, as amostras foram compostas e processadas para posteriores análises laboratoriais.

Amostras dos ingredientes e das rações totais foram descongeladas e secas em estufas com ventilação forçada (55ºC) por 72 horas e moídas em moinhos tipo “Wiley” providos de peneiras de 5,0 e posteriormente 1,0 mm. Após o processamento, as amostras foram analisadas para MS (12 horas em estufa a 105°C) e matéria orgânica (MO) (cinco horas em mufla a 600°C). O teor de extrato etéreo (EE) foi determinado de acordo com a metodologia proposta pela AOAC (1990). O conteúdo de N foi determinado pelo método de combustão de Dumas (Leco FP-2000 N analyzer) de acordo com Sweeney (1989). Os teores de FDN, FDA e lignina foram determinados usando o método de Van Soest et al. (1991), com

sulfito de sódio para todas as amostras e α – Amilase para as amostras de concentrado e dieta total.

Cálculo de energia líquida das rações

Para o cálculo dos valores de energia líquida observada foram utilizados os dados de IMS e GPD. Para tal, foram utilizadas as fórmulas a seguir, segundo a metodologia proposta por Zinn e Shen (1998). O objetivo foi comparar o resultado encontrado com o obtido no ensaio de desempenho e o valor previsto por Weiss (1992).

Foram calculadas as exigências de ganho (E_g) e de manutenção (E_m) dos animais através das fórmulas 1 e 2, respectivamente. Calculadas as exigências energéticas relacionadas aos ganhos de peso vivo (kg/dia) e aos pesos metabólicos (kg) dos animais durante os quatro períodos experimentais, foram então calculados os valores de energia líquida das rações (Mcal/kg de MS) para manutenção (EL_m) e ganho (EL_g) pelas das fórmulas 3 e 4.

(1) $E_g = [0{,}0493\ PC^{0,75}]\ GPD^{1,097}$; (NRC, 1984)

(2) $E_m = 0{,}077\ PC^{0,75}$; (Lofgreen& Garrett, 1968; citados por Zinn&Shen, 1998)

(3) $EL_m = (-\ b - ((b^2) - (4ac))^{0,5}))/(2a)$; (Zinn&Shen, 1998)

$a = -0{,}877\ IMS$

$b = 0{,}877\ E_m + 0{,}41\ IMS + E_g$

$c = -0{,}41\ E_m$

(4) $EL_g = 0{,}877\ EL_m – 0{,}41$; (Zinn&Shen, 1998), Onde,

E_g = exigência em energia para ganho (Mcal/dia)

E_m = exigência em energia para manutenção (Mcal/dia)

EL_m = energia líquida de manutenção (Mcal/kg de MS)

EL_g = energia líquida de ganho (Mcal/kg de MS)

Comportamento animal

Foram tomadas medidas de comportamento animal (alimentação, ruminação e outras atividades) dos animais das 40 baias. As observações foram feitas no 90° dia de confinamento, durante 24 h em intervalos de 10 minutos.

Delineamento experimental e análise estatística

Foi adotado o delineamento em blocos completos aleatorizados. Os animais

foram distribuídos nos blocos de acordo com o peso vivo inicial. Os dados foram avaliados pelo procedimento MIXED do programa estatístico SAS. Para todos os parâmetros analisados, a baia foi utilizada como unidade experimental. Todos os dados foram testados para se verificar a distribuição normal dos erros, utilizando-se o proc univariate do SAS. Foi feita uma análise exploratória dos dados, envolvendo teste para homogeneidade da variância, teste para medidas discrepantes e transformação potência ótima de Box e Cox (1964). O modelo estatístico adotado foi o seguinte:

$$y_{ij} = \mu + T_i + B_j + e_{ij},$$

em que:

y_{ij} é o valor observado na unidade que recebeu o i-ésimo tratamento no j-ésimo bloco;

μ é a média geral;

T_i é efeito do i-ésimo tratamento;

B_j é o efeito do j-ésimo bloco;

e_{ij} é o erro aleatório na associado ao j-ésimo bloco e i-ésimo tratamento.

3.2.2 Experimento Metabólico

Foram utilizados oito machos Nelore, castrados, canulados no rúmen, com peso corporal inicial de 339 ± 30 kg, confinados em baias não concretadas e descobertas. Foram avaliados características ruminais, sanguíneas, produção de proteína microbiana, consumo de matéria seca, digestibilidade dos nutrientes, comportamento animal, estimativa da produção de metano e produção de calor.

Os animais foram pesados, vacinados contra clostridioses (Merial-Sintoxan®) e desverminados com vermífugo Albendazol 10% (OuroFino-Ricobendazole®) e receberam vitamina ADE (Vallée-Vallée Vita®) e distribuídas em dois Quadrado Latino 4 x 4. Primeiramente os animais foram adaptados à dieta de alto concentrado pelo método de dieta final com restrição. Iniciou-se com o fornecimento de 1,5% do peso corporal, com acréscimos diários de 400g de MS até estabilizarem o consumo. Os períodos de adaptação aos aditivos foram de 15 dias seguidos de 6 dias de coleta. A ração foi fornecida uma vez ao dia, às 8:00 h. O consumo foi ajustado para ter entre 3 e 5 % de sobras, que foram coletadas duas vezes por semana. Foram

coletadas amostras dos ingredientes a cada partida, da ração ofertada uma vez por semana e das sobras duas vezes por semana, as quais foram congeladas a – 18 °C para posteriores análises.

Todos os animais receberam uma dieta base, à qual foi adicionada dos aditivos via núcleo mineral. A dieta base era composta por 12% de bagaço de cana, 80 % de milho moído, 4% de farelo de soja, 2,5% de núcleo mineral e 1,5% de ureia. Os tratamentos foram: T1 – Controle, que consistiu em dieta base, sem aditivos; T2 – dieta base com adição de monensina sódica na dose de 25 mg/kg MS; T3 – dieta base com adição de Essential® na dose de 300 mg/kg MS; e T4 – dieta base com adição de monensina sódica (25 mg/kg MS) e Essential® (300 mg/kg MS), como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Ingredientes e composição dos tratamentos fornecidos para novilhos Nelores canulados, recebendo dietas a base de milho moído e aditivos.

Ingredientes, % MS	Controle	Monensina[1] 25 ppm	OF[2] 300 ppm	Mon+OF 25+300 ppm
Bagaço de cana	12,0	12,0	12,0	12,0
Milho moído	80,0	80,0	80,0	80,0
Farelo de soja	4,0	4,0	4,0	4,0
Núcleo mineral	2,5	2,5	2,5	2,5
Urea	1,5	1,5	1,5	1,5
Monensina (ppm)	-	25	-	25
OF (ppm)	-	-	300	300
	Composiçao bromatológica, %MS			
MS, %MV	72,54	72,02	72,10	72,70
PB	12,68	12,88	12,66	12,60
MM	4,12	3,87	3,99	4,13
EE	3,41	3,74	3,44	3,11
FDN	36,59	37,88	33,51	33,05
FDA	13,00	15,00	17,00	19,00

[1] Monensina sódica 10% (Elanco - Rumensin®); [2] Produto comercial (Oligobasics - ESSENTIAL®), contendo óleos de rícino (ácido ricinoleico é o ácido graxo ativo) e óleo de caju (cardol e cardanol).

Produção de ácidos graxos voláteis, pH e amônia ruminal

Foram tomadas amostras do fluído ruminal (100 mL) durante o 2º dia de coleta de cada período experimental nos tempos 0, 1, 2, 3, 5, 7 e 9 horas após o fornecimento matinal da ração. De cada tempo de amostragem, uma alíquota de 50mL foi acidificada com 1mL de ácido sulfúrico 50%, conforme metodologia utilizada por Broderick et al. (2009) para análises de ácidos graxos voláteis e N-amoniacal ruminal. O pH foi medido com potenciômetro digital (Tecnopon, mPA – 210P) imediatamente após a coleta.

Coleta de urina

A urina dos animais foi coletada no dia cinco de cada período de coleta, quatro horas após o fornecimento das dietas para a determinação da produção de metano e para a determinação dos derivados de purina e calculo da síntese microbiana. A urina foi coletada na forma “spot” (uma amostra por animal) por meio de estímulo via massagem no prepúcio. Uma alíquota de 10 mL da urina coletada foi filtrada em gaze, diluída em 40 mL de H_2SO_4 (0,072 *N*), conforme descrito por Broderick e Reynal (2009), e armazenada à -18ºC para posteriores análises.

Administração de marcadores externos e coleta de fezes

A produção fecal foi estimada em cada um dos oito animais do experimento utilizando-se o óxido de cromo e o dióxido de titânio como marcadores externo. Foram pesados 5 gramas de cada indicador em balança analítica e acondicionados em dobradura de papel toalha individual. Os marcadores foram administrados via cânula, diariamente às 6 e 18 horas, a partir dos últimos 10 dias do período de adaptação e durante os 4 primeiros dias do período de coleta. As fezes foram coletadas diretamente no reto duas vezes ao dia (6 e 18 horas) durante os 5 primeiros dias do período de coleta. Após serem coletadas, as amostras foram acondicionadas em caixa térmica e congeladas para análises posteriores. Para o período de coleta de fezes, os animais receberam 85% do consumo ad libitum apresentado até o período de coletas.

Comportamento animal

Foram tomadas medidas de comportamento animal (alimentação, ruminação e outras atividades) dos oito animais, em cada período. As observações foram feitas no 1° dia de coleta de cada período, durante 24 h em intervalos de 5 minutos.

Consumo de Oxigênio e Produção de Calor

Para a frequência cardíaca calibrada para o oxigênio consumido, a frequência foi monitorada durante todo o período experimental, utilizando frequencímetros POLAR®, cujos eletrodos foram ajustados ao tórax do animal por intermédio de uma cinta de neoprene. Os dados foram transmitidos via wireless em intervalos de 1 minuto e, posteriormente, transmitidos a um computador por sensor infravermelho.

O oxigênio consumido por batimento cardíaco foi calculado a partir da mensuração simultânea da frequência cardíaca e do volume consumido de O_2 por um período de 15 minutos, de acordo com Brosh et al. (1998), a ser realizada no último dia de cada período de coleta. O consumo de O_2 foi obtido com o equipamento EXHALYZER®V (ECOMedics, Suiça), o qual é composto por uma máscara em sistema respiratório de sistema fechado (TAYLOR et al., 1982), acoplada a um analisador de gases, sendo a calibração feita com gás de concentração conhecida. Para minimizar o efeito do estresse do animal sobre as mensurações a cada pesagem foi utilizada um protótipo da máscara para adaptá-lo à mesma, na tentativa de obtenção de pelo menos uma medida válida por animal. O consumo diário de O_2 foi, então, o consumo de O_2 por batimento multiplicado pelo total de batimentos cardíacos diários. A produção de calor diária foi o consumo total de O_2 assumindo 4,89 kcal/L de O_2 (NICOL; YOUNG, 1990), sendo este valor expresso em função do peso vivo metabólico do animal (kcal/kg $PC^{0.75}$.dia). A produção de calor (PCa) então foi estimada pela equação:

$$\mathrm{PCa}\left(\frac{kcal}{dia\ \times kg\ PC^{0,75}}\right) = \frac{BCD\ \times\ O_2BC\ \times\ 4{,}89\ kcal\ /\ L\ de\ O_2}{kg\ de\ PC^{0,75}}$$

Onde: BCD = total de batimentos cardíacos diários; O_2BC = consumo de O_2 por batimento cardíaco (L/batimento)

Devido ao fato de estar relacionado com a capacidade de transporte de oxigênio pela corrente sanguínea e possivelmente interferir nas medidas de consumo de O_2 e batimentos cardíacos, o hematócrito foi determinado concomitantemente às mensurações de O_2. Para este fim, foram coletadas amostras de sangue, cuja análise foi realizada pela técnica de micro-hematócrito, por meio de centrifugação a 3000 rpm durante 10 minutos em tubos micro-capilares e a leitura feita com régua graduada específica para este fim. A porção do hematócrito foi expressa em porcentagem do volume total.

Análises laboratoriais

As sobras foram analisadas semanalmente para MS (24 horas em estufa a 105°C) para ajuste do consumo. Amostras dos ingredientes e das rações totais foram descongeladas e secas em estufas com ventilação forçada (55ºC) por 72 horas e moídas em moinhos tipo “Wiley” providos de peneiras de 5,0 e posteriormente 1,0 mm. Após o processamento, as amostras foram analisadas para MS (12 horas em estufa a 105°C) e matéria orgânica (MO) (cinco horas em mufla a 600°C). Para os ingredientes e dietas, o teor de extrato etéreo (EE) foi determinado de acordo com a metodologia proposta pela AOAC (1990). O conteúdo de N foi determinado pelo método de combustão de Dumas (Leco FP-2000 N analyzer) de acordo com Sweeney (1989). Os teores de FDN, FDA e lignina foram determinados usando o método de Van Soest et al. (1991), com sulfito de sódio para todas as amostras e α – Amilase para as amostras de concentrado e dieta total misturada.

As amostras de fezes foram analisadas para as concentrações de cromo e titânio no laboratório de tecidos vegetais do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP. As amostras de fezes foram descongeladas, secas em estufa a 55°C durante 72 horas, moídas a 1 mm e as amostras coletadas de cada animal agrupadas de forma equivalente, com base na matéria seca, para compor uma amostra por animal por período. O teor de dióxido de titânio foi determinado segundo Myers et al. (2004). Uma amostra de 0,5 g de fezes foi digerida, por 2 horas, em

temperatura de 400ºC, em tubos para determinação de proteína. Após a digestão, 10 mL de H_2O_2 (30%) foram adicionados lentamente e o material do tubo, transferido para um béquer e completado com água destilada até 100 g. Logo após esse procedimento, o material do béquer foi transferido para balões de 100 mL e adicionados de mais 3 gotas de H_2O_2 (30%). Na digestão foram utilizados 15 mL de ácido sulfúrico e 5 g da mistura digestora para proteína (macro *Kjeldahl*). Uma curva padrão foi preparada com 0, 2, 4, 6, 8 e 10 mg de dióxido de titânio e as leituras realizadas em espectrofotômetro com comprimento de onda de 410 nm. Para análise da concentração de cromo, as amostras foram submetidas à digestão nitro-perclórica a quente (VEGA; POPPI, 1997) no Laboratório de Tecidos Vegetais do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP. O plasma resultante da digestão foi analisado para concentração de cromo pela técnica de espectrometria de emissão ótica por plasma acoplado indutivamente, no Laboratório de Análise Ambiental e Geoprocessamento do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP).

A produção fecal total (PFT) diária foi obtida com base na seguinte relação:

Excreção fecal (kg/dia) = Concentração de indicador administrado (mg) / Concentração do indicador nas fezes (mg/kg).

Para a estimativa de produção de metano de acordo com Midwood et al. (1989 e 1993) foi analisado o N-total da urina de acordo com o método *Kjeldahl* (AOAC, 1984).

Para a determinação da síntese microbiana, as análises de purinas foram realizadas pelo Laboratório de Nutrição Animal do CENA/USP, em que foram determinadas as concentrações de alantoína, creatinina e ácido úrico por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). As amostras foram centrifugadas a 2000 RPM. Dois mL do sobrenadante foram transferidos para outro frasco, onde foram adicionados 2,75 mL do tampão A (solução de $NH_4H_2PO_4$ 0,0025M) e 0,25 mL de padrão de oxipurinol. Após homogeneização em vórtex, 1 mL da solução foi filtrado em membrana PTFE 0,45 µm e armazenadas nos *vials* para análise cromatográfica.

Para os cálculos de síntese microbiana, a concentração de creatinina foi utilizada para estimar o volume de urina, assumindo o valor proposto por Chizzotti et al. (2008) de 0,213 mmol/kg PC. Após o cálculo do volume urinário e tendo as concentrações de alantoína e ácido úrico, foi calculado a excreção diária de derivados de purinas de acordo com Chen e Gomes (1992). A contribuição endógena dos derivados de purina foi tida como 0,512 mmol/kg de peso metabólico (GONZALEZ-RONQUILLO et al., 2003) e descontado do valor de excreção de derivados de purinas. A recuperação das purinas absorvidas como derivados de purina na urina foram tidos como 74% (GONZALEZ-RONQUILLO et al., 2003). Assim, o cálculo de purinas absorvidas foi realizado conforme equação abaixo:

$$\text{Purinas absorvidas (mmol } dia^{-1}) = \frac{Excreção\ DP - contribuição\ endógena}{Recuperação\ de\ purinas\ na\ urina}$$

A partir da quantificação das purinas absorvidas, calculou-se o N microbiano assumindo que a quantidade de N das purinas foi constante e equivalente a 70mg de N/mmol e a digestibilidade intestinal foi de 83% (CHEN; GOMES, 1992). A relação N-purina:N-total assumida foi de 0,149 (ZINN; OWENS, 1986) e o valor de N microbiano foi multiplicado por 6,25 para obter-se a síntese de proteína microbiana. O cálculo do N microbiano é apresentado na equação abaixo:

$$N\ microbiano\ (g\ dia) = \frac{Purinas\ absorvidas\ X\ quantidade\ de\ N\ nas\ purinas}{Relação\ Npurina{:}\ Ntotal\ x\ Dig.purinas\ x\ 1000}$$

Delineamento experimental e análise estatística

Os animais foram distribuídos em Quadrado Latino 4 x 4, com uma réplica. Os períodos de adaptação foram de 15 dias seguidos de 6 dias de coleta. Os dados foram avaliados pelo procedimento MIXED do programa estatístico SAS. Para todos os parâmetros analisados, o animal foi utilizado como unidade experimental. Todos os dados foram testados para se verificar a distribuição normal dos erros, utilizando-se o PROC UNIVARIATE do SAS. Foi feita uma análise exploratória dos dados, envolvendo teste para homogeneidade da variância, teste para medidas discrepantes e transformação potência ótima de Box e Cox (1964).

$$y_{ijkl} = \mu + T_i + (A_j)Q_k + \mathrm{k}\,\mathrm{P}_l + \mathrm{e}_{ijkl}\,,$$

em que:

y_{ijkl} é o valor observado na unidade que recebeu o i-ésimo tratamento no j-ésimo bloco;

μ é a média geral;

T_i é o efeito do i-ésimo tratamento;

A_j é o efeito do j-ésimo animal dentro do k-ésimo quadrado;

P_l é o efeito do l-ésimo período;

e_{ijkl} representa o erro aleatório na unidade experimental *ijkl.*

3.2.3 Experimento de Produção de Gás *in vitro*

As dietas experimentais foram incubadas para avaliação da cinética de fermentação ruminal *in vitro*, pela técnica semi-automática de produção cumulativa de gases, segundo Mauricio et al. (1999). O inóculo ruminal foi obtido de bovinos adultos, fistulados no rúmen e mantidos em pastagem, suplementos com 4 kg de concentrado comercial a base de milho, farelo de soja, ureia e sal mineral. O inóculo foi incubado com 1 g de amostra, sendo utilizados 90 mL de meio de cultura e 10 mL de inóculo, em vidros de 160 mL, sendo para cada tratamento três repetições.

A pressão dos gases produzidos foi medida nos tempos 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 17, 20, 24, 28, 36, 48, 72 96 e 120 horas após a incubação, mediante o uso de um transdutor-medidor de pressão (PDL800). Do valor obtido em cada leitura foi subtraída a pressão obtida de vidros sem substrato (branco).

Para a determinação da produção de gás assintótica e tempo de colonização pelos microrganismos ruminais (*lag time*) foi utilizado do modelo de France et al, (1993).

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Experimento de Desempenho

Na Tabela 3 são apresentados os resultados de desempenho animal durante os primeiros 21 do período experimental, quando os animais estavam sendo adaptados à dieta final em sistema em escada (*step up*).

A monensina sódica reduziu o consumo de MS (P=0,0001) e o GPD (P=0,0500) dos animais nos primeiros 21 dias de adaptação, sem efeito positivo na eficiência alimentar (P>0,1) em relação aos demais tratamentos. A monensina apresentou o menor peso de carcaça ao final do período de 21 dias (P=0,0109) em comparação aos tratamentos que continham OF. A dose utilizada neste experimento está dentro da recomendação para uso deste ionóforo (ELLIS et al., 2012; GOODRICH et al.,1984). No entanto, estes resultados foram diferentes do esperado, uma vez que a literatura mostra melhoria consistente na eficiência alimentar com o uso de monensina sódica (RAUN, 1990; PAGE, 2003). Porém, Shelling (1984), verificou que o uso de monensina sódica pode afetar negativamente a digestibilidade dos alimentos quando fornecida para animais não adaptados. Entretanto, o autor ressalta que o uso de monensina parece resultar em leve aumento da digestibilidade da dieta quando os animais já estão adaptados. Este efeito pode estar relacionado às alterações no consumo de MS, enchimento ruminal e taxa de passagem ruminal (SHELLING, 1984). A avaliação aos 21 dias pode estar contemplando este período em que a microbiota ruminal ainda não estava adaptada, sendo registrada a menor eficiência alimentar no período inicial para o tratamento com monensina sódica. Neste sentido, na avaliação aos 124 dias, não foi verificada diferença entre os tratamentos para a eficiência alimentar, GPD ou peso corporal (Tabela 4).

Os tratamentos contendo OF 500 ppm apresentou eficiência alimentar aos 21 dias maior que o controle (P=0,0578) e tanto OF 300 ppm, quanto OF 500 ppm foram melhores que a monensina sódica para eficiência alimentar (Tabela 2). A dose de OF utilizada está de acordo com o indicado pelo fabricante e avaliado experimentalmente. Coneglian (2009), testando diferentes doses de óleos funcionais de mamona e de caju na dieta de bovinos, observou que a dose diária de 3,1 g/animal garantiu a eficiência da síntese microbiana e digestibilidade total aparente dos nutrientes.

Tabela 3 - Desempenho animal, peso corporal inicial (PCi), peso corporal final (PCf), consumo de matéria seca (CMS), ganho de peso diário (GPD), conversão alimentar (CMS/GPD), eficiência alimentar (GPD/CMS) nos primeiros 21 dias.

	Tratamentos				EPM	*P*[3] *value*
	Controle	Monensina[1] 30 ppm	OF[2] 300ppm	OF 500ppm		
PCi	338,7	338,6	338,7	338,7	5,79	0,8590
PCf[4]	373.7 ab	364.5 b	377.1a	375.2 a	6,69	0,0109
CMS	7.96 a	6.49b	7.83 a	7.71ª	0,22	0,0001
GPD	0.95ª	0.76 b	1.11 a	1.12 a	0,11	0,0500
CMS/GPD	8.90 ab	10.92 a	7.28 b	7.19 ab	0,96	0,0211
GPD/CMS	0.120 bc	0.105 c	0.141 ab	0.145 a	0,01	0,0578

[1] Monensina sódica 10% (Elanco - Rumensin®); [2] Produto comercial (Oligobasics - ESSENTIAL®), contendo óleos de rícino (ácido ricinoleico é o ácido graxo ativo) e óleo de caju (cardol e cardanol). [3] Valores seguidos das letras a,b e c diferem entre si com valor de P<0,05 e valores seguidos das letras x, y e z diferem entre si com valor de P<0,1; [4] O peso corporal final foi estimado adotando-se 4 % como sendo valor de enchimento ruminal para simular o jejum, realizado para tomada do PCi

Na Tabela 4 são apresentados os resultados de desempenho animal durante o período total de 124 dias, do início da adaptação até o abate. Houve tendência (P<0,1) para aumento do CMS com o uso de OF, em relação â monensina sódica.

O efeito negativo da monensina sódica no CMS em relação ao tratamento com OF, observado na fase inicial do confinamento (dia 1 ao dia 21), teve sua magnitude diluída ao longo dos 124 dias de período experimental total, porém foi mantido, de acordo com o esperado. Nos trabalhos revisados, a suplementação com OF resultou em maior CMS que com monensina sódica em dois estudos (BENCHAR et al., 2006; MEYER et al., 2009) e em CMS igual em um estudo (JEDLICKA et al., 2009).

A monensina sódica reduziu o CMS (P<0,10) em comparação com a dieta controle (sem aditivo). Este resultado concorda com o relatado nas principais revisões sobre o uso deste aditivo em dietas de bovinos terminados em confinamento com alto teor de grãos de cereais (GOODRICH et al., 1984; DUFFIELD et al., 2012). A dieta utilizada neste estudo continha 80,6% de grãos de milho, ou seja, era rica em carboidratos não fibrosos (amido). Esta condição de elevada inclusão de carboidratos de rápida fermentação pode ter desafiado metabolicamente os animais e promovido a redução no CMS em decorrência do uso de monensina sódica na dieta, em comparação ao uso de OF.

Tabela 4 - Peso corporal inicial (PCi), peso corporal final (PCf), consumo de matéria seca (CMS), ganho de peso diário (GPD), conversão alimentar (CMS/GPD), eficiência alimentar (GPD/CMS), peso de carcaça quente (PCQ), espessura de gordura subcutânea (EGS), área de olho de lombo (AOL), rendimento de carcaça (RC) dos animais do desempenho, após 124 dias de confinamento, incluindo a adaptação.

	Tratamentos				EPM	*P*[3] *value*
	Controle	Monensina[1] 30 ppm	OF[2] 300ppm	OF 500ppm		
PCi, kg	338,60	338,53	338,55	338,68	5,77	0,7144
PCf, kg	496,44	493,20	501,26	504,86	9,61	0,3417
CMS, kg/d	9,89 x	9,52 y	10,28 x	10,26 x	0,33	0,0870
GPD, kg/d	1,27	1,24	1,31	1,34	0,04	0,3584
CMS/GPD	7,79	7,67	7,85	7,68	0,19	0,8846
GPD/CMS	0,129	0,131	0,128	0,131	0,003	0,8470
PCQ, kg	273,84	273,98	278,96	281,13	5,16	0,1357
EGS, mm	6,06	6,02	6,33	6,65	0,27	0,3466
AOL, cm^2	62,84	63,98	65,06	65,59	1,22	0,1606
RC, %	55,65	55,61	55,83	55,79	0,26	0,9119

[1] Monensina sódica 10% (Elanco - Rumensin®); [2] Produto comercial (Oligobasics - ESSENTIAL®), contendo óleos de rícino (ácido ricinoleico é o ácido graxo ativo) e óleo de caju (cardol e cardanol). [3] Valores seguidos das letras a,b e c diferem entre si com valor de P<0,05 e valores seguidos das letras x, y e z diferem entre si com valor de P<0,1.

Considerando o período total de confinamento (124 dias), não houve diferença (P>0,10) entre os tratamentos para GPD, peso corporal final, peso de carcaça quente e rendimento de carcaça. Na literatura é consistentemente relatado o aumento na eficiência alimentar com o uso de monensina (GOODRICH et al., 1984; DUFFIELD et al., 2012), porém esta diferença não foi verificada no presente estudo.

As características de carcaça, como peso de carcaça quente, espessura de gordura subcutânea e rendimento de carcaça não foram afetados pelos tratamentos (P>0,10). Não há relatos consistentes na literatura que o uso de monensina sódica (GOODRICH et al., 1984; DUFFIELD et al, 2012) afete positiva ou negativamente as características de carcaça de bovinos em terminação. Assim como no presente estudo, Meyer et al. (2009) não detectaram diferenças para peso corporal final ou peso de carcaça quente para animais (britânicos e britânico × continental) recebendo dietas sem aditivo, com monensina, OF ou combinação desses aditivos durante 170 dias de alimentação. Jedlicka et al. (2009), comparando os OF do Essential® separado ou combinado com monensina, não encontraram diferenças para as características de peso de corporal final e rendimento de carcaça. Da mesma forma, Zotti et al. (2012) não verificaram alteração no peso de carcaça quente e

característica de carcaça para novilhos confinados, usando a mesma fonte de OF na dose de 500 mg/kg MS. No estudo conduzido por Chaves et al. (2008), ao avaliar três diferentes tipos de óleos funcionais (*Cinnamonum cassia, Allium sativum e Juniperus communis*) em comparação com o tratamento sem aditivos, não foram encontradas diferenças para rendimento de carcaça.

Entretanto, Zawadzki et al. (2010) testaram o mesmo produto comercial contendo OF do presente estudo para bovinos em terminação e observaram aumento significativo (P=0,06) do peso de carcaça quente dos animais suplementados com OF em comparação com monensina sódica. Silva (2014), usando bovinos Nelore, testou o mesmo produto comercial com OF do presente estudo e relatou efeito positivo (P=0,08) dos OF em aumentar o PCQ (298,56 x 281,03 kg) em comparação com monensisa sódica (30 ppm/kg MS).

Na Tabela 5 são apresentados os valores de energia líquida de ganho e de mantença oferecidos nas dietas, obtidos com base no desempenho dos animais.

Tabela 5 - Energia líquida para ganho em para mantença segundo Zinn e Shen (1998) para bovinos Nelore recebendo dietas a base de milho moído e aditivos.

	Tratamentos				EPM	*P*[3] *Value*
	Controle	Monensina[1] 30 ppm	OF[2] 300 ppm	OF 500 ppm		
EL observada da ração						
Manutenção	1,68	1,70	1,65	1,68	0,027	0,6604
Ganho	1,06	1,08	1,04	1,06	0,024	0,6604
EL, observado/esperado						
Manutenção	0,76	0,77	0,75	0,76	0,012	0,6604
Ganho	0,80	0,81	0,78	0,80	0,018	0,6604

[1] Monensina sódica 10% (Elanco - Rumensin®); [2] Produto comercial (Oligobasics - ESSENTIAL®), contendo óleos de rícino (ácido ricinoleico é o ácido graxo ativo) e óleo de caju (cardol e cardanol); [3] Valores seguidos das letras a,b e c diferem entre si com valor de P<0,05 e valores seguidos das letras x, y e z diferem entre si com valor de P<0,1.

Não houve diferença (P>0,10) entre os tratamentos para os valores de energia das dietas. Nuñez et al. (2013), com uso de aditivos para animais suplementados com a associação ionóforo + virginimacina, observaram menor CMS, porém sem diferença para GPD e eficiência alimentar. No trabalho dos autores, a suplementação com os aditivos antibióticos ionóforos e não ionóforos (monensina + virginiamicina) melhorou (P<0,05) a eficiência do uso da energia em 32% quando comparado com os valores para animais recebendo somente o ionóforo. De acordo com os autores, o aditivo age alterando padrões de fermentação ruminal, aumentando a eficiência de utilização da energia da dieta. Assim como Silva (2014),

para este estudo não foram encontrados abcessos hepáticos nos fígados dos animais abatidos, independentemente do tratamento.

Na Tabela 6 são apresentados os dados de comportamento animal. A monensina aumentou o tempo que os animais passaram no cocho, ao mesmo tempo em que reduziu o consumo total de MS dos animais. Isto pode ser um indicativo do maior número de refeições realizado pelos animais recebendo monensina sódica, em comparação aos demais tratamentos. Na literatura é relatado o aumento na frequência de alimentação, juntamente com a diminuição no tempo de cada período de ingestão, evidenciando o efeito modulador decorrente do uso de ionóforos, em especial para dietas com monensina sódica que apresentam maior número de trabalhos (PAGE, 2003). Assim como no caso do uso de monensina sódica, a variabilidade dos resultados está sujeita à influência da proporção de concentrado, ao tipo de proteína e a sua degradabilidade e também está relacionado à qualidade da forragem (LANA et al., 1997), além dos diferentes OF e seus compostos bioativos e suas combinações (OH et al., 1968; PATRA, 2011).

Com relação ao efeito dos óleos funcionais no CMS, Benchaar et al. (2003) não verificaram diferenças no CMS de vacas lactantes recebendo óleos funcionais em uma dosagem de 750 mg/d. Entretanto, Benchaar et al. (2006), com novilhos confinados recebendo dietas à base de silagem e uma dose diária mais elevada de óleos funcionais (2 e 4 g/cabeça), observaram aumento no CMS. Por outro lado, há estudos em que o uso de OF levou à redução do CMS (BENCHAAR et al., 2006). O aumento no número de refeições ao longo do dia é relacionado a uma maior estabilidade no padrão de fermentação ruminal. Tager e Krause (2011) não observaram efeito no CMS, número de refeições, tempo de ruminação e tempo de alimentação para bovinos recebendo dietas com dição de OF como aditivo alimentar.

O uso de intervalos de 10 minutos para registrar as observações de atividade dos animais pode ter contribuído para a observação de maior tempo de consumo com o uso da monensina sódica. Uma vez que as refeições pudessem ser mais curtas que os intervalos de dez minutos, a maior frequência e menor duração de refeições pode ter sido confundida com maior tempo gasto com alimentação.

Tabela 6 - Tempo, em minutos, das observações de comportamento animal para bovinos Nelore recebendo dietas a base de milho moído e aditivos.

	Controle	Monensina[1] 30 ppm	OF[2] 300 ppm	OF 500 ppm	EPM	*P*[3] *value*
Consumindo	72 b	95 a	66 b	71 b	7,8	0,0306
Ócio em pé	550	514	546	500	21,0	0,2871
Ócio deitado	561	592	592	596	16,8	0,2923
Ruminando em pé	82	79	86	85	9,5	0,9587
Ruminando deitado	169	152	146	180	14,0	0,2661
Bebendo água	6	8	5	8	2,1	0,6403

[1] Monensina sódica 10% (Elanco - Rumensin®); [2] Produto comercial (Oligobasics - ESSENTIAL®), contendo óleos de rícino (ácido ricinoleico é o ácido graxo ativo) e óleo de caju (cardol e cardanol); [3] Valores seguidos das letras a,b e c diferem entre si com valor de P<0,05 e valores seguidos das letras x, y e z diferem entre si com valor de P<0,1.

3.3.2 Experimento metabólico

Na Tabela 7 estão os resultados para comportamento animal e consumo de matéria seca dos bovinos Nelore, castrados, recebendo dieta a base de milho e aditivos alimentares.

Os aditivos testados não afetaram (P>0,10) o CMS, a DMS, o tempo de alimentação e de outras atividades, assim como a frequência e o tempo de cada refeição. Entretanto, todos os aditivos testados reduziram (P=0,0268) o tempo de ruminação dos animais em relação ao tratamento controle (sem aditivos). A ausência de efeito dos aditivos no CMS foi discordante do experimento de desempenho animal. Entretanto, na grande maioria dos trabalhos de pesquisa tem sido relatado de forma consistente o efeito negativo da monensina sódica no CMS de bovinos confinados (GOODRICH et al., 1984; DUFFIELD et al., 2012). O mecanismo de modulação de consumo dos ionóforos pode ser em função de gerar uma experiência olfativa ou gustativa desagradável, ocasionando uma aversão condicionada ao desconforto proveniente do próprio alimento como, palatabilidade, textura, aparência visual e também por fatores relacionados ao animal, como o estado emocional e aprendizado (MERTENS, 1994). O aumento da densidade energética da dieta com uso de monensina sódica pode ser fator modulador do consumo animal (NRC, 1996). Com relação aos OF, a ausência de efeito destes no CMS em relação à dieta controle está de acordo com os dados de Benchaar et al. (2006), Jedlicka et al. (2009), Meyer et al. (2009).

Tabela 7 - Efeito do uso de óleos funcionais, monensina sódica ou sua combinação no consumo de matéria seca (CMS), comportamento animal e pH ruminal de bovinos Nelore, castrados, alimentados com dietas a base de milho moído e aditivos alimentares

	Controle	Monensina[1] 25 ppm	OF[2] 300 ppm	Mon+OF 25+300 ppm	EPM	*P*[3] *value*
CMS, kg/d	8.8	8.1	8.2	7.9	1.16	0.4604
DMS.cromo	54,48	52,65	60,90	59,16	3,71	0,3548
DMS.titânio	62,87	58,58	64,96	62,85	4,72	0,5998
Alimentação, min	191	208	195	179	24	0.5769
Ruminação, min	208a	169ab	130b	150b	17	0.0268
Outras[4], min	1060	1148	1133	1074	72	0.2644
N° refeições, ref/d	9.5	8.9	10.9	8.8	2.50	0.4499
Tempo/ref, min/ref	23	25	18	21	1.32	0.2967
PC, kg	478	471	464	465	15	0.7096

[1] Monensina sódica 10% (Elanco - Rumensin®); [2] Produto comercial (Oligobasics - ESSENTIAL®), contendo óleos de rícino (ácido ricinoleico é o ácido graxo ativo) e óleo de caju (cardol e cardanol); [3] Valores seguidos das letras a,b e c diferem entre si com valor de P<0,05 e valores seguidos das letras x, y e z diferem entre si com valor de P<0,1; [4] Atividades que não alimentação e ruminação, como ócio e interações sociais.

É consenso na literatura xque o uso de monensina sódica pode contribuir para a redução do risco de acidose em confinamentos comerciais em virtude da redução na produção de lactato (NAGHARAJA et al., 1982) e de um maior número de refeições diárias com menor volume consumido por refeição (ERICKSON et al., 2003; STOCK et al., 1995). O aumento no número de refeições ao longo do dia é relacionado a uma maior estabilidade no padrão de fermentação ruminal. Entretanto, no presente estudo não foi observado benefício do uso de monensina no aumento do número de refeições. Também não foi observado efeito positivo do uso de OF nessa variável. Tager e Krause (2011) não observaram efeito no CMS, número de refeições, tempo de ruminação e tempo de alimentação para bovinos recebendo dietas com dição de OF como aditivo alimentar.

Na Tabela 8 são apresentados os valores para concentração de amônia e pH ruminal, além do perfil fermentativo e síntese de proteína microbiana. Não houve diferença (P>0,05) entre os tratamentos para a concentração de amônia, ácido acético, ácido propiônico, isobutírico e isovalérico. A dieta controle (sem aditivos) e inclusão de monensina sódica na dieta resultaram em redução (P<0,01) do pH ruminal em comparação com os tratamentos contendo OF. A inclusão de OF na dieta reduziu as concentrações dos ácidos butírico (P=0,0522) e valérico (P<0,001), aumentou a proporção molar de acetato (P=0,003) e reduziu a de propionato (P=0,0428), em relação ao tratamento com monensina. A proporção molar de

valerato e de AGV totais no fluido ruminal também não foi alterada com o uso dos diferentes aditivos alimentares (P>0,10).

Conforme ocorre a diminuição do pH ruminal, reduz-se a amplitude e a frequência dos movimentos ruminais, podendo ocorrer paralisia ruminal em pH próximo de 5,0 (BLOOD et al., 1979). Todos os tratamentos promoveram pH ruminal dentro da faixa considerada normal para bovinos. Os valores entre 5,6 e 5,2 são considerados os limites para a caracterização do quadro de acidose aguda e crônica, respectivamente (OWENS et al., 1998).

Em avaliação da adaptação, com troca abrupta de dietas, para bovinos confinados recebendo dietas de alta inclusão de concentrado (0 para 92 % de concentrado) e com o uso de monensina, virginiamicina, OF (Essential®) ou dieta controle, Silva (2014) não observou diferença entre os tratamentos para CMS, porcentagem de amido fecal e pH fecal durante os primeiros 21 dias. Isto pode ser um indicativo de que o patamar de consumo não foi suficiente para alterar o pH de fezes, como evidenciado por Ledoux et al. (1985) que concluíram que em consumo de MS de 1,7% do peso corporal, a ingestão de amido de milho não é alta o bastante para diminuir o pH fecal. Tal fato pode ainda ser relacionado à questão de estabilidade fisiológica do sistema digestório, sendo que os aditivos teriam sido equivalentes para manter o equilíbrio funcional do trato digestório.

A produção de proteína microbiana não diferiu entre os tratamentos (P > 0,1) e foi de 652, 896, 1004, 694 gramas por dia, respectivamente para tratamento controle, monensina, Essential e monensina + Essential. O erro padrão da média foi de 170 g.

Tabela 8 - Efeito do uso de óleos funcionais, monensina sódica ou sua combinação no pH, concentração de amônia e ácidos graxos voláteis (AGV) e sua proporção, em bovinos Nelore, castrados, alimentados com dietas a base de milho moído e aditivos.

	Controle	Monensina[1] 25 ppm	OF[2] 300 ppm	Mon+OF 25+300 ppm	EPM	*P*[3] *value*
Amônia, mg/dL	11,85	10,36	10,25	11,86	3,55	0,3503
pH	5,79 b	5,89 b	6,06 a	6,01 a	0,10	0,0001
Ácido acético	60,67	62,42	62,36	63,28	14,093	0,7247
Ácido propiônico	26,78	27,84	24,32	24,97	3,632	0,1252
Ácido butírico	6,67	6,75	6,68	6,93	0,707	0,9494
Ácido isobutírico	1,50 y	1,70 x	1,46 y	1,56 xy	0,221	0,0522
Ácido isovalérico	2,65	2,57	2,62	2,50	0,343	0,8337
Ácido valérico	1,85 c	2,31 a	1,92 bc	2,09 ab	0,102	0,0060
AGV total, µmol/mL	104,94	108,34	104,24	106,01	9,558	0,6776
µmol/100 µmol						
Ácido acético,	62,54 bc	61,72 c	65,33 a	64,39 ab	3,047	0,0030
Ácido propiônico	25,65 a	26,07 a	23,02 b	23,74 ab	3,437	0,0428
Ácido isobutírico	6,33	6,17	6,22	6,36	0,297	0,9542
Ácido butírico	1,39	1,46	1,35	1,42	0,139	0,5663
Ácido isovalérico	2,51	2,26	2,46	2,36	0,206	0,4794
Ácido valérico	1,81	2,1	1,9	2,0	1,678	0,6006
Prot. Microbiana, g/d	652	896	1004	694	170	

[1] Monensina sódica 10% (Elanco - Rumensin®); [2] Produto comercial (Oligobasics - ESSENTIAL®), contendo óleos de rícino (ácido ricinoleico é o ácido graxo ativo) e óleo de caju (cardol e cardanol); [3] Valores seguidos das letras a,b e c diferem entre si com valor de P<0,05 e valores seguidos das letras x, y e z diferem entre si com valor de P<0,1.

Na Tabela 9 são apresentadas as características sanguíneas, consumo de oxigênio, produção de calor e produção de metano. As frequências cardíacas (FC) obtidas durante as mensurações de oxigênio foram similares à média da estimativa diária durante o período de adaptação, o que sugere que os animais não estavam em condição de estresse durante o procedimento de mensuração de oxigênio. De acordo dom Brosh (2007), com batimentos cardíacos até 20 % acima do apresentado nas condições de normalidade (conforto), pode-se considerar constante o pulso de oxigênio.

Os animais recebendo OF apresentaram tendência a menor O_2Pulse e mL de oxigênio por batimento cardíaco que o grupo controle, com 106,9 ± 14,3 × 172,5 ± 14,3 µlO_2/$PC^{0,75}$/bat, e 9,4 ± 1,4 × 14,8 ± 1,4 mL de oxigênio por batimento cardíaco, respectivamente. Os valores de O_2Pulse observados neste experimento foram um pouco abaixo dos apresentados por Brosh et al. (1998), que verificou média de 238 µlO_2/$PC^{0,75}$/bat, quando avaliaram novilhas Hereford com peso de 345 ± 10.8 kg, alimentadas com 80% de concentrado e 20% de sorgo. Neste trabalho, a frequência

cardíaca dos animais não foi afetada pelo uso de diferentes aditivos e apresentou valor médio de 104,2 ± 34,4 bat/min. Brosh (2007), avaliando vacas com batimentos na faixa de 61 a 88 bat./dia, observou valores médios de volume de oxigênio da ordem de 20 a 30 ml/min/ kgPC^{0,75} , um pouco acima do observado neste trabalho.

Tabela 9 - Características sanguíneas, consumo de oxigênio, produção de calor e produção de metano de bovinos Nelore, castrados, alimentados com dietas a base de milho, com uso de óleos funcionais, monensina sódica ou sua combinação.

	Controle	Monensina[1] 25 ppm	OF[2] 300 ppm	Ess+OF 300+25 ppm	*P*[3] *value*
Hemoglobina	11,5 ± 1,4	10,6 ± 1,4	13,0 ± 1,4	11,7 ± 1,4	0,1110
Hematócrito	33,2 ± 6,9	31,6 ± 6,6	34,7 ± 6,5	33,1 ± 6,5	0,7681
Freq. Cardíaca	80,0 ± 34,6	108,8 ± 33,4	126,3 ± 35,0	101,8 ± 34,6	0,1147
Consumo de O_2					
Calibração (L)	16,024 ± 3,0	16,8 ± 2,8	14,0 ± 2,9	16,3 ± 2,8	0,5567
Pulse[4]	172,5 ± 14,3 x	132,7 ± 10,1 xy	106,9 ± 14,3 y	136,2 ± 17,6 xy	0,0550
mL/bat	14,8 ± 1,4 x	12,1 ± 1,0 xy	9,4 ± 1,4 y	10,2 ± 1,4 xy	0,0776
L/dia	1844 ± 230	1486 ± 163	1214 ± 230	1232 ± 230	0,2362
ml/min. kg^{0,75}	11,9 ± 1,8	12,1 ± 1,7	10,8 ± 1,7	11,6 ± 1,7	0,3389
Prod. Calor (Mcal/dia)	9,02 ± 1,13	7,27 ± 0,80	5,9 ± 1,1	5,94 ± 1,13	0,2362
Metano (KJ/dia)	15612 ± 2496	15115 ± 1765	9102 ± 3530	13804 ± 2496	0,5033
Metano (Kcal/dia)	3730 ± 596	3611 ± 422	2174 ± 843	3298 ± 596,3	0,5033
Metano (Mcal/dia)	3,73 ± 0,69	3,29 ± 0,43	2,18 ± 0,97	3,30 ± 0,68	0,6509

[1] Monensina sódica 10% (Elanco - Rumensin®); [2] Produto comercial (Oligobasics - ESSENTIAL®), contendo óleos de rícino (ácido ricinoleico é o ácido graxo ativo) e óleo de caju (cardol e cardanol); [3] Valores seguidos das letras a,b e c diferem entre si com valor de P<0,05 e valores seguidos das letras x, y e z diferem entre si com valor de P<0,1; [4] Consumo de oxigênio em (O_2Pulse), em µlO_2/PV^{0,75}/batimento cardíaco.

A metodologia para mensuração do consumo de oxigênio utilizada neste experimento foi a mesma aplicada por Chaves (2013), que obteve valor médio de produção de calor de 13,4 ± 3,06 Mcal/dia. Os animais deste experimento apresentaram valores para produção de calor menores (Tabela 9) que os encontrados por Chaves (2014). A menor produção de calor corporal está associada a maior eficiência metabolica dos animais (BASARAB et al., 2003; ALMEIDA, 2005; NKRUMAH et al., 2006; NASCIMENTO, 2011; SOUZA, 2012; CHAVES, 2013). Nkrumah et al. (2006) encontraram que a produção de calor foi 21% menor para grupos eficientes, quando comparados a animais energeticamente ineficientes, mostrando que o menor gasto energético com produção de calor é um dos fatores que pode explicar a melhor eficiência dos animais. De acordo com Chaves (2013), a produção de calor representa um substancial componente do gasto energético em ruminantes, afetando o balanço energético. A fração da energia perdida como calor geralmente representa em torno de 70% da energia de mantença de bovinos em

crescimento. Com isso, menor produção de calor está relacionada diretamente com menor exigência de mantença, e isso pode ser consequência de muitos mecanismos biológicos, como baixa produção de metano durante a digestão (NKRUMAH et al., 2006), baixa atividade física (LUITING et al., 1994; BAREA et al., 2010) e menor resposta ao estresse (KNOTT et al., 2008, 2010).

Os valores para frequência cardíaca foram próximos aos obtidos por Chaves (2013) (89,4 ± 8,3 bat./min) e um pouco acima dos observados por Brosh et al. (2002) (44,9 ± 1,81 bat./min). Porém, variações entre experimentos são documentadas na literatura (LANCASTER et al., 2005; PADDOCK, 2010; HAFLA, 2012). Além disso, a categoria animal, sexo, raça, condições fisiológicas e características ambientais podem imprimir diferenças no metabolismo, FC e consumo de energia metabolizável dos animais estudados (BROSH et al., 2004; BROSH et al., 2002). Todavia, os fatores relacionados às diferenças de FC não estão plenamente elucidados. Porém, estas variações podem estar relacionadas à maior exigência de mantença ou à maior resposta ao estresse que os animais energeticamente ineficientes podem apresentar. O cortisol sanguíneo é negativamente relacionado com o temperamento dos animais, sendo altamente influenciado pelo estresse, o que pode contribuir para variação entre animais (GOMES et al., 2013). De acordo com Brosh et al. (2002), maior PCa pode ser observada em animais que apresentem maior FC, sendo que a PCa e FC aumentaram em animais que consumiram maior energia metabolizável.

O consumo de O_2 em mL/bat foi menor (P=0,0776) para os animais recebendo OF em comparação ao tratamento controle. Embora tenha sido verificado maior consumo de O_2 por batimento, isto não refletiu em diferenças para a PCa entre os tratamentos. Todavia, os tratamentos que receberam OF apresentaram valores absolutos menores para a produção de calor. A menor PCa dentre indivíduos contemporâneos submetidos à uma mesma condição ambiente pode ser um indicativo de maior eficiência no metabolismo energético (BROSH et al., 2002).

Como o O_2Pulse é dependente do O_2 bombeado a cada batimento cardíaco, esta variável apresentou o mesmo comportamento. Os animais consumindo dietas com uso de OF apresentaram o O_2Pulse 38% menor que os animais na dieta controle. Paddock (2010), avaliando novilhas, observou que os animais menos eficientes apresentaram maior O_2Pulse e consumo de oxigênio em relação aos animais eficientes. O O_2Pulse pode mudar durante o dia se os animais estiverem em

intensa atividade física ou estresse, sendo esta uma característica individual do animal (BROSH et al., 1998, 2004). Neste experimento, não foram observadas atividades físicas intensas ou estresse por parte dos animais, já que eles permaneceram alojados em baias individuas durante todo o experimento. Então, pode-se considerar que o uso de um valor constante de O_2Pulse, para o cálculo da produção de calor, pode representar adequadamente a produção de calor diária. Não houve efeito significativo entre os tratamentos para produção de calor avaliada por esta metodologia (Tabela 9). Paddock (2010) também utilizando a metodologia do O_2Pulse, observou que a PCa foi 17,4% maior em animais de baixa eficiência energética. Entretanto, Aharoni et al. (2003) observaram em vacas em lactação que a produção de calor não aumentou proporcionalmente com o aumento da FC.

Chaves (2013) observou que animais eficientes apresentaram menor porcentagem no hematócrito e menor concentração de hemoglobina. Neste estudo não foram verificadas diferenças para estas variáveis. Uma possível inferência seria que os animais mais eficientes possuem menor quantidade volume globular ou hematócrito e menor concentração de hemoglobina no sangue (CHAVES, 2013). Do mesmo modo, Richardson et al. (1996), avaliando constituintes sanguíneos em novilhas e touros Angus classificados em alta e baixa eficiência alimentar, observaram que os animais mais eficientes possuem maior quantidade de células vermelhas sanguíneas, por outro lado, a proporção de hemoglobina e hematócrito encontradas nas células vermelhas foram menores em relação aos animais ineficientes. Richardson et al. (2001) também observaram menor concentração de hemoglobina (11,7 ± 0,15 vs 12,3 ± 0,13; P<0,01) e hematócrito (31,4 ± 0,50 vs 33,3 ± 0,42; P<0,01) em touros Angus de alta eficiência energética.

Com isso, a menor taxa de hematócrito nos animais mais eficientes pode sugerir que eles possuem maior número de células vermelhas e menor número de outras células, ou seja, células brancas, em relação aos animais ineficientes. Estas diferenças podem estar associadas com a capacidade de transporte de oxigênio (CHAVES, 2013).

Chaves (2013), menciona que variações na eficiência alimentar dos animais poderiam ser explicadas pela redução da deposição de gordura interna, visto que o consumo de energia para deposição de gordura é um processo menos eficiente que para deposição de proteína (LOFGREEN; GARRETT, 1968). Além disso, esse efeito pode ser atribuído ao maior consumo de matéria seca e energia pelos animais

ineficientes, e o consumo alimentar além das exigências pode levar ao aumento na deposição de gordura interna. De acordo com Gomes et al. (2012), animais eficientes apresentaram menor quantidade de gordura no trato gastrointestinal e menor quantidade de gordura pélvica e inguinal. A gordura interna pode ser um importante componente na variação da eficiência em novilhos Nelore e que como a indústria não paga diretamente por esses componentes de carcaça, a redução da conversão alimentar para gordura visceral pode ser desejada (GOMES et al., 2012). Ainda de acordo com Chaves (2013), é importante ressaltar que a gordura visceral pode ser bastante importante para a manutenção reprodutiva de vacas em sistemas de produção a pasto, cuja sazonalidade de produção forrageira pode limitar o aporte de nutrientes para os animais. Assim, faz-se necessário conhecer até que ponto a seleção para eficiência energética pode ou não afetar a reprodução de matrizes. Segundo Ferrell & Jenkins (1984), existem variações na mantença que estão mais associadas com peso e atividade metabólica dos órgãos viscerais, como intestino e fígado, do que com proteína e gordura corporal ou composição do ganho.

3.3.3 Ensaio de Produção de Gás “in vitro”

Na Figura 1 são apresentadas as curvas para acúmulo bruto de gás durante o período total de incubação, antes do ajuste do modelo.

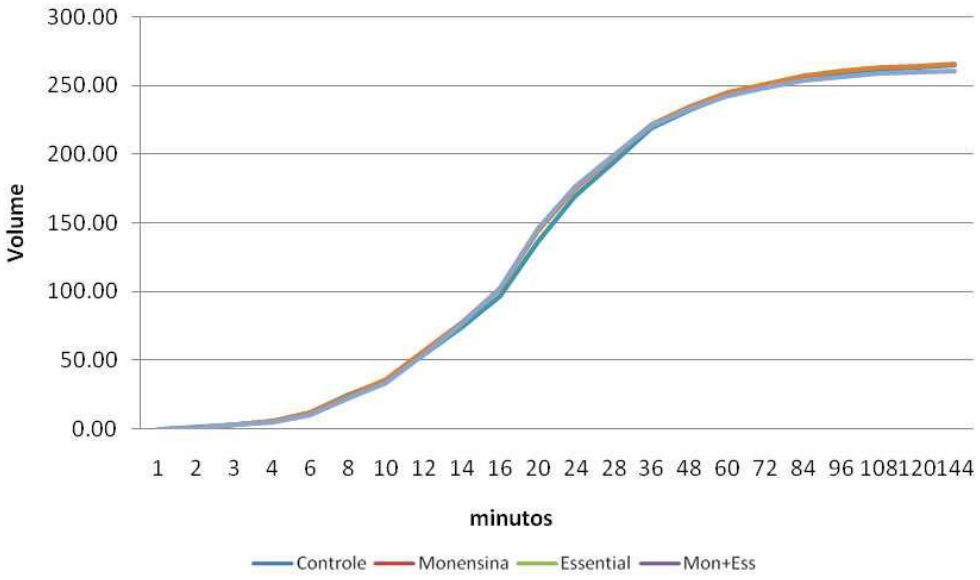

Figura 1 - Produção de gás, em mL, acumulada durante 144 horas para as dietas a base de milho e aditivos.

Para a determinação da produção de gás assintótica e tempo de colonização pelos microrganismos ruminais (*lag time*) foi utilizado do modelo de France et al. (1993). Na Tabela 10 são apresentados os valores de produção assintótica e *lag time* obtidos com uso de monensina sódica, Essential® ou a combinação de ambos nas dietas ricas em milho.

Tabela 10 - Cinética da produção cumulativa de gás para dietas a base de milho moído e aditivos.

	Controle	Monensina[1] 25 ppm	OF[2] 300 ppm	Mon+OF 25+300 ppm	EPM	*P*[3] *value*
Produção assintótica, mL	222.55	227.75	224.38	217.94	2.768	0.1891
Lag time, h	5.20	5.39	5.30	5.69	0.178	0.3510

[1] Monensina sódica 10% (Elanco - Rumensin®); [2] Produto comercial (Oligobasics - ESSENTIAL®), contendo óleos de rícino (ácido ricinoleico é o ácido graxo ativo) e óleo de caju (cardol e cardanol); [3] Valores seguidos das letras a,b e c diferem entre si com valor de P<0,05 e valores seguidos das letras x, y e z diferem entre si com valor de P<0,1.

O volume final de gás não foi afetado pelos diferentes aditivos utilizados na dieta base rica em coprodutos, evidenciando que não houve vantagem específica decorrente do uso de um determinado aditivo para a degradação da dieta. Da mesma forma, o *lag time* também não sofreu ação dos aditivos testados, reiterando a equivalência entre os aditivos alternativos quanto aos critérios avaliados.

3.4 Conclusões

A suplementação com OF melhorou o desempenho de bovinos na fase inicial do confinamento em relação ao não uso de aditivos ou ao uso de monensina sódica, porém essa vantagem não se mantêm ao longo do período total de confinamento.

No presente estudo os OF testados não contribuíram para o aumento da eficiência de produção de bovinos em confinamento ou para a redução do seu impacto ambiental durante o período total de avaliação.

Referências

AHARONI, Y.; BROSH, A.; KOURILOV, P.; ARIELI, A. The variability of the ratio of oxygen consumption to heart rate in cattle and sheep at different hours of the day and under different heat load conditions. **Livestock Production**, Amsterdam, v. 79, p. 107-117, 2003.

ALMEIDA, R. **Consumo e eficiência alimentar de bovinos em crescimento**. 2005. 181 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de

Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.AMORATI, R.; PEDULLI, G.F.; VALGIMIGLI, L.; ATTANASI, O.A.; FILIPPONE, P.; FIORUCCI, C.; SALADINO, R. Absolute rate constants for the reaction of peroxyl radicals with cardanol derivatives. **Journal of Chemistry Society**. Perkin Trans. v. 2, p. 2142-2146, 2001.

ASSOCIATON OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis.** 14th ed. Arlington, 1984. 1141 p.

_____. **Official methods of analysis**. 12th ed. Washington, 1990. 318 p.

BAREA, R.; DUBOIS, S.; GILBERT, H.; SELLIER, P.; VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. Energy utilization in pigs selected for high and low residual feed intake. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 88, p. 2062-2072, 2010.

BASARAB, J.A.; PRICE, M.A.; AALHUS, J.L.; OKINE, E.K.; SNELLING, W.M.; LYLE, K.L. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 83, p. 189-204, 2003.

BEAUCHEMIN, K.A.; McGINN, S M. Methane emissions from beef cattle: Effects of fumaric acid, essential oil, and canola oil. **Journal of Anima Science**, Albany, v. 84, p. 1489–1496, 2006.

BENCHAAR, C.; DUYNISVELD, J.L.; CHARMLEY, E. Effects of monensin and increasing dose levels of a mixture of essential oil compounds on intake, digestion and growth performance of beef cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, Alberta, v. 86, p. 91–96, 2006.

BENCHAAR, C.; CALSAMIGLIA, S.; CHAVES, A.V.; FRASER, G.R.; COLOMBATTO, D.; McALLISTER, T.A.; BEAUCHEMIN, K.A. A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. **Animal Feed Science and Technology**, Toronto, 145, p. 209-228, 2008.BERGEN, W.G.; BATES, D.B. Ionophores: their effect on production efficiency and mode of action. **Jounal of Animal Science**, Albany, v. 58, p. 1465-1483, 1984.

BEVANS, D.W.; BEAUCHEMIN, K.A.; SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K.S.; McKINNON, J.J.; McALLISTER, T.A. Effect of rapid or gradual grain adaptation on subacute acidosis and feed intake by feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 83, p.116-1132, 2005.

BLOOD, D.C.; HENDERSON, J.A.; RADOSTITS, O.M. Doenças dotrato alimentar. In: _____. **Clínica veterinária**. 5 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1979. p. 95-149.

BOX, G.E.P.; COX, D.R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Society**, Pennsylvania, v. 26, p. 211-252, 1964.

BRITTON, R.R.; STOCK, R.A. Acidosis, rate of starch digestion and intake. In: OKLAHOMA STATE UNIVERSITY. Agricultural Experiment Station. **Feed intake by beef cattle**. Stillwater, 1987. p. 125-137. (MP, 121).

BRODERICK, G. A.; REYNAL, S. M. Effect of source of rumen-degraded protein on production and ruminal metabolism in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, p. 2822-2834, 2009.

BROSH, A. Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: a review. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 85, p. 1213-1227, 2007.

BROSH, A.; AHARONI, Y.; HOLZER, Z. Energy expenditure estimation from heart rate: validation by long-term energy balance measurement in cows. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 77, p. 287–299, 2002.

BROSH, A.; AHARONI, Y.; SHARGAL, E.; SHARIR, B.; GUTMAN, M.; CHOSHNIAK, I. Energy balance of grazing beef cattle in Mediterranean pasture, the effects of stocking rate and season. 2. Energy expenditure as estimated from heart rate and oxygen consumption, and energy balance. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 90, p. 101–115, 2004.BROSH, A.; AHARONI, Y.; DEGEN, A.; WRIGHT, D.; YOUNG, B.A. Estimation of energy expenditure from heart rate measurements in cattle maintained under different conditions. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 76, p. 3054–3064, 1998.

BURT S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods: a review. **International Journal of Food Microbiology,** Washington**,** v. 94, p. 223–253, 2004.

CARROLL, J.A.; FORSBERG. N.E. Influence of stress and nutrition on cattle immunity. **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**. Amsterdam, v. 23, p. 105–149, 2007.

CARSTENS, G.E.; KERLEY, M.S. Biological basis for variation in energetic efficiency of beef cattle. In: ANNUAL RESEARCH SYMPOSIUM, 41., 2009.Sacramento. **Proceedings…** Sacramento: Beef Improvement Federation, 2009. p. 124-131.

CHAVES, A.S. **Relações entre eficiência alimentar e características de carcaça, qualidade de carne, batimentos cardíacos e consumo de oxigênio em bovinos**. 2013. 132 p. Tese de (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

CHAVES, A.V.; HE, M.L.; YANG, W.Z.; HRISTOV, A.N.; McALLISTER, T.A.; BENCHAAR, C. Effects of essential oils on proteolytic, deaminative and methanogenic activities of mixed ruminal bacteria. **Canadian Journal of Animal Science**, Alberta, v. 88, n. 1, p. 117-122, 2008.

CHEN, X.B.; GOMES, M.J. **Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives:** an overview of technical details. Buckburnd: Roweet Research Institute; 1992. 21 p.

CHIZZOTTI, M.L.; VALADARES FILHO, S.C.; VALADARES, R.F.D; CHIZZOTTI, F.H.M.; TEDESCHI, L.O. Determination of creatinine excretion and evaluation of spot urine sampling in Holstein cattle. **Livestock Science,** Madison, v. 113, p. 218-225, 2008.

CONEGLIAN, S.M. **Uso de óleos essenciais de mamona e caju em dietas de bovinos**. 2009. 101 p.Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

COOPER, R.J.; KLOPFENSTEIN, T.J.; STOCK, R.A.; MILTON, C.T.; HEROLD, D.W.; PARROTT, J.C. Effects of imposed feed intake variation on acidosis and performance of finishing steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, p. 1093-1099, 1999.

DUFFIELD, T.F.; MERRILL, J.K.; BAGG, R.N. Meta-analysis of the effects of monensin in beef cattle on feed efficiency, body weight gain, and dry matter intake. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 90, p. 4583-4592, 2012.

ERICKSON, G.E.; MILTON, C.T.; FANNING, K.C.; COOPER, R.J.; SWINGLE, R.S.; PARROTT, J.C.; KLOPFENSTEIN, T.J. Interaction between bunk management and monensin concentration on finishing performance, feeding behavior, and ruminal metabolism during an acidosis challenge with feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 81, n. 11, p. 2869-2879, 2003.

FERRELL, C.L.; JENKINS, T.G. Energy utilization by mature, non pregnant, nonlactating cows of different types. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 58, p. 234–243, 1984.

FRANCE, J.; DHANOA, M.S.; THEODOROU, M.K.; LISTER, S.J.; DAVIES, D.R.; ISAC, D. A model to interpret gas accumulation profiles associated with in vitro degradation of ruminant feeds. **Journal of Theoretical Biology**, Amsterdam, v. 163, p. 99-111, 1993.GOMES, R.C.; SAINZ, R.D.; LEME, P.R. Protein metabolism, feed energy partitioning, behavior patterns and plasma cortisol in nellore steers with high and low residual feed intake**. Revista Brasileira de Zootecnia,** Viçosa, v. 42, n. 1, p. 44-50, 2013.

GOMES, R.C.; SAINZ, R.D.; SILVA, S.L.; CESAR, M.C.; BONIN, M.N.; LEME, P.R. Feedlot performance, feed efficiency reran king, carcass traits, body composition, energy requirements, meat quality and calpain system activity in Nellore steers with low and high residual feed intake. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 150, p. 265–273, 2012.

GONZALEZ-RONQUILLO, M.; BALCELLS, J.; GUARDA, J.A.; VICENTE, F. Purine derivative excretion in dairy cows: endogenous excretion and the effect of exogenous nucleic acid supply. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, n. 4, p. 1286-1291, 2003.

GOODRICH, R.D.; GARRET, J.E.; GAST, D.R.; KIRICK, M.A.; LARSON, D.A.; MEISKE, J.C. Influence the monensin on the performance of cattle. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 58, p. 1484-1498, 1984.

GRAZZINI, R.; HESK, D.; HEIMINGER, E.; HILDENBRANDT, G.; REDDY, C.C.; COX-FOSTER, D.; MEDFORD, J.; CRAIG, R.; MUMRNA, R.O. Biochemistry. **Biophysical Research Communications,** Amsterdam, v. 176, n. 2, p. 775-780, 1991.

GUNAL, M.; ISHLAK, A.; ABUGHAZALEH, A.A. Evaluating the effects of six essential oils on fermentation and biohydrogenation in in vitro rumen batch cultures. **Czech Journal of Animal Science**, Praha, v. 558, n. 6, p. 243–252, 2013.

HAFLA, A.N. **Examining mechanisms contributing to the biological variation of residual feed intake in growing heifers and bulls and in mid-gestation females**. 2012. 132 p. Dissertation (Doctor of Philosophy) – Texas A & M University, College Station, Texas, 2012.

HELANDER, I.M.; ALAKOMI, H.L.; LATVA-KALA, K.; MATTILA-SANDHOLM, T.; POL, I.; SMID, E.J.; GORRIS, L.G.M.; VON WRIGHT, A. Characterization of the action of selected essential oil components on gram-negative bacteria. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 46, p. 3590–3595, 1998.

HIMEJIMA M.; KUBO, I. Antibacterial agents from the cashew *Anacardium-occidentale* (Anacardiaceae) nut shell oil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 39, p. 418, 1991.

HRISTOV, A.N.; OH, J.; FIRKINS, J.L.; DIJKSTRA, J.; KEBREAB, E.; WAGHORN, G.; TRICARICO, J.M. SPECIAL TOPICS—Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. **Journal of Animal Science**,Albany, v. 91, n. 11, p. 5045-5069, 2013.

JEDLICKA, M.E; PUREVJAV, T.; CONOVER, A.J.; HOFFMAN, M.P.; PUSILLO, G. Effects of functional oils and monensin alone or in combination on feedlot cattle growth and carcass composition (progress report). **Animal Industry Report**, Amsterdam, v. 655, n. 1, p. 46, 2009.

KHIAOSA-ARD, R.; ZEBELI, Q. Meta-analysis of the effects of essential oils and their bioactive compounds on rumen fermentation characteristics and feed efficiency in ruminants. **Journal of Animal Science,** Albany, v. 91, p. 1819–1830, 2013.

KNOTT, S.A. Rams with poor feed efficiency are highly responsive to an exogenous adrenocorticotropin hormone (ACTH) challenge. **Domestic Animal Endocrinology**, Auburn, v. 34, p. 261-268, 2008.

KNOTT, S.A.; CUMMINSB, L.J.; DUNSHEA, F.R.; LEURY, B.J. Feed efficiency and body composition are related to cortisol response to adrenocorticotropin hormone and insulin-induced hypoglycemia in rams. **Domestic Animal Endocrinology**, Auburn, v. 39, p. 137-146, 2010. KOHLERT, C.; VAN RENSEN, I.; MARZ, R. Bioavailability and pharmokinetics of natural volatile terpenes in animal and humans. **Planta Medica**, Oxford, v. 66, p. 495-505, 2000.

KUBO, I.; KOMATSU, S.; OCHI, M. Molluscicides from the cashew *Anacardium occidentale* and their large-scale isolation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 34, p. 970-973, 1986.

KUBO, I.; MUROI, H.; KUBO, A. Naturally occurring antiacne agents. **Journal of Natural Products**, Amsterdam, v. 57, p. 9-17, 1994.

KUBO, I.; OCHI, M.; VIEIRA, P.C.; KOMATSU, S. Antitumor agents from the cashew *Anacardium occidentale* apple juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 41, p. 1012-1015, 1993.

LANCASTER, P.A.; SCHILLING, B.R.; CARSTENS, G.E.; BROWN, E.G.; CRAIG, T.M.; LUNT, D.K. Correlations between residual feed intake and carcass traits in finishing steers administered anthelmintic treatments. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 83, p. 263, 2005.

LEDOUX, D.R.; WILLIAMS, J.E.; STROUD, T.E.; GARNER, G.B.; PATERSON, J.A. Influence of forage level on passage rate, digestibility and perfomrance of cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 61, n. 6, p. 1567-1575, 1985.

LOFGREEN, G.P.; GARRETT, W.N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 27, p. 793, 1968.

LUITING, P.; URFF, E.M.; VESTERGEN, M.W.A. Between animal variations in biological efficiency as related to residual feed consumption. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Amsterdam, v. 42, p. 59–67, 1994.

MAURICIO, R.M.; MOULD, F.L.; DHANOA. M.S.; OWEN, E.; CHANNA, K.S.; THEODOROU, M.K. A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminants feedstuff evaluation. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 79, p. 321–330, 1999.

McINTOSH, F.M.; WILLIAMS, P.; LOSA, R.; WALLACE, R.J.; BEEVER, D.A.; NEWBOLD, C.J. Effects of essential oils on ruminal microorganisms and their protein metabolism. **Applied and Environmental Microbiology**, Oxford, v. 60, p. 5011–5014, 2003.

MERTENS, D.R. Regulation of forage intake. In: _____. **Forage quality evaluation and utilization.** Madison: American Society of Agronomy, 1994. p. 98.

MEYER, N.F.; ERICKSON, G.E.; KLOPFENSTEIN, T.J.; GREENQUIST, M.A.; LUEBBE, M.K.; WILLIAMS, P.; ENGSTROM, M.A. Effect of essential oils, tylosin, and monensin on finishing steer performance, carcass characteristics, liver abscesses, ruminal fermentation, and digestibility. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 87, n. 7, p. 2346-2354, 2009.

MIDWOOD, A.J.; HAGGARTY, B.A.; McGAW, G.S.; ROBINSON, J.J. Methane production in ruminants: it's effect on the doubly labelled water. **American Journal of Physiology**, Bethesda, v. 257, p. 1488-1495, 1989.

MIDWOOD, A.J.; ANDREW, J.; HAGGARTY, P.A.; McGAW, G.S.; BRIAN, A. The doubly labeled water method: Errors due to deuterium exchange and sequestration inruminants. **American Journal of Physiology**, Bethesda, v. 264, p. 561-567, 1993.

MILLEN, D.D.; PACHECO, R.D.L.; ARRIGONI, M.D.B.; GALYEAN, M.L.; VASCONCELOS, J.T. A snapshot of management practices and nutritional

recommendations used by feedlot nutritionists in Brazil. **Journal of Animal Science**, Montréal, v. 87, n. 10, p. 3427-3439, 2009.

MUROI, H.; NIHEI, K.; TSUJIMOTO, K.; KUBO, I. Synergistic effects of anacardic acids and methicillin against methicillin resistant Staphylococcus aureus. **Bioorganic and Medicinal Chemistry**, Amsterdam, v. 12, p. 583–587, 2004.

MYERS, W.D.; LUDDEN, P.A.; NAYIGIHUGU, V.; HESS, B.W. Technical note: a procedure for preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 82, p. 179-193, 2004.

NAGARAJA, T.G.; LECHTENBERG, K.F. Acidosis in feedlot cattle. **The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice,** Philadelphia, v. 23, p. 333–350, 2007.

NAGARAJA, T.G.; MILLER, G.W. Ruminal microbial changes in ionophore antibiotic-treated steers with experimentally induced acidosis. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Seoul, v. 2, n. 3, p. 465-468, 1989.

NAGARAJA, T.G.; AVERY, T.B.; BARTLEY, E.E.; ROOF, S.K.; DAYTON, A.D. Effect of lasalocid, monensin or thiopeptin on Lactic acidosis in cattle. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 54, p. 649-658, 1982.

NASCIMENTO, M.L. **Eficiência alimentar e suas associações com lucro, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos Nelore**. 2011. 118 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle.** 7th ed. Washington: National Academic Press, 1996. 242 p.

NICOL, A.M.; YOUNG, B.A. Short-term thermal and metabolic responses of sheep to ruminal cooling: effects of level of cooling and physiological state. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 70, p. 833-843, 1990.

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 behaviour with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 84, p. 145–153, 2006.

NUÑEZ, A.J.C.; CAETANO, M.; BERNDT, A.; DEMARCHI, J.J.A.A., LEME, P.R.; LANNA, D.P.D. Combined use of ionophore and virginiamycin for finishing nellore steers fed high concentrate diets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 4, p. 229-236, 2013.

OLIVEIRA, C.A.; MILLEN, D.D. Levantamento sobre as recomendações nutricionais e práticas de manejo adotadas por nutricionistas de bovinos confinados no Brasil: Informações gerais e adaptação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 7, p. 3, 2011.

OWENS, F.N.; SODERLUND, S. Ruminal and post rumial starch digestion by cattle. In: PIONEER HI-BRED, A DUPONT BUSINESS CONFERENCE, 2007, Jonston. **Proceedings…** Jonston: Du Pont, 2007. p. 116-128.

OWENS, F.N.; ZINN, R.A.; KIM, Y.K. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. **Journal of Animal Science,** Albany, v. 63, p. 1634-1648, 1986.

OWENS, F.N.; SECRIST D.S; HILL W.J.; GILL D.R. Acidosis in cattle: a review. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 76, p. 275-286, 1998.PADDOCK, Z.D. **Energy expenditure in growing heifers with divergent residual feed intake phenotypes:** effects and interactions of metaphylactic treatment and temperament on receiving steers. 2010. 62 p. Thesis (Master of Science) – Texas A & M University, College Station, 2010.

PATRA, A.K. Effects of essential oils on rumen fermentation, microbial ecology and ruminant production. **Asian Journal of Animal and Veterinary Advances**, New York, v. 6, p. 416–428, 2011.

RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M.; ODDY, V.H.; THOMSPON, J.M.; ARCHER, J.A.; ARTHUR, P.F. Body composition and implications for heat production of Angus steer progeny of parents selected for and against residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture,** Melbourne, v. 41, p. 1065–1072, 2001.

RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M.; ARTHUR, P.F.; WRIGHT, J.; XU, G.; DIBLEY, K.; ODDY, V.H. Possible physiological indicators for net feed conversion efficiency in beef cattle. **Australian Society of Animal Production**, Wagg, v. 21, p. 103-106, 1996.

RICHARDSON, L.F.; RAUN, A.P.; POTTER, E.L.; COOLEY, C.O.; RATHMACHER, R.P. Effect of monensin on rumen fermentation in vitro and in vivo. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 43, p. 657-664, 1976.

ROSS, Z.M.; O'GARA, E.A.; HILL, D.J.; SLEIGHTHOLME, H.V.; MASLIN, D.J. Antimicrobial properties of garlic oil against human enteric bacteria: evaluation of methodologies and comparisons with garlic oil sulfides and garlic powder. **Applied and Environmental Microbiology**, Oxford, v. 67, p. 475–480, 2001.

SHOBHA S.V.; RAMADOSS, C.S.; RAVINDRANATH, B. Inhibition of soybean lipoxygenase-1 by anacardic acids cardols and cardanols. **Journal of Natural Products**, Washington, v. 57, p. 1755-1757, 1994.

SILVA, A.P.S. **Efeito da monensina, da virginiamicina e dos óleos funcionais de mamona e caju em bovinos Nelore submetidos a mudança abrupta para dietas com elevado teor de concentrado**. 2014. 103 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

SOUZA, A.R.D.L. **Relações entre eficiência alimentar, características de carcaça e qualidade de carne de Novilhos Nelore confinados**. 2012. 86 p. Tese

(Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

STOCK, R.A.; LAUDERT, S.B.; STROUP, W.W.; LARSON, E.M.; PARROTT, J.C.; BRITTON, R.A. Effects of monensin and monensin and tylosin combinations on feed intake variation of feedlot steers. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 73, p. 39–44, 1995.

SWANSON, J.C.; MORROW-TESCH, J. Cattle transport: historical, research, and future perspectives. **Journal of Animal Science,** Albany, v. 79, p. E102–E109, 2001.

SWEENEY, R. A.Generic combustion method for determination of crude protein in feeds. **Journal of Official Analytical Chemists**, San Diego, v. 72, p. 770-774, 1989.

TAGER, L.R.; KRAUSE, K.M. Effects of essential oils on rumen fermentation, milk production, and feeding behavior in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 94, p. 2455-2464, 2011.

TAYLOR, C.R.; HEGLUND, N.C.; MALOIY, G.M.O. Energetics and mechanics of terrestrial locomotion as a function of speed and body size in birds and mammals. **Journal of Experimental Biology,** London, v. 97, p. 1-21, 1982.

TREVISAN, M.T.S.; PFUNDSTEIN, B.; HAUBNER, R.; WÜRTELE, G.; SPIEGELHALDER, B.; BARTSCH, H.; OWEN, R.W. Characterization of alkyl phenols in cashew (*Anacardium occidentale*) products and assay of their antioxidant capacity . **Food and Chemical Toxicology**, Amsterdam, v. 44, n. 2, p. 188-197, 2006.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.

VEGA, A.; POPPI, D.P. Extent of digestion and rumen condition as factors affecting passage of liquid and digesta particles in sheep. **Journal of Agriculture Science,** Cambridge, v.128, p. 207–215, 1997.

VIEIRA, C.; FETZER, S.; SAUER, S.K.; EVANGELISTA, S.E.; AVERBECK, B.; KRESS, M.; REEH, P.W.; CIRILLO, R.; LIPPI, A.; MAGGI, C.A.; MANZINI, S. Pro- and anti-inflammatory actions of ricinoleic acid:similarities and differences with capsaicin. Naunyn-Schmiedeberg’s. **Archives of Pharmacology**, Secaucus, v. 364, p. 87–95, 2001.

WEISS, W.P.; CONRAD, H.R.; PIERRE, R.S. A theoretically-base model for predicting total digestible nutrient values of a forages and concentrates. **Animal Feed Science**, Amsterdam, v. 39, p. 95-119, 1992.

ZAWADZKI, F.; FUGITA, C.A.; SILVA, L.G.; SESTARI, B.B.; TORECILHAS, J.A.; PEROTTO, D.; OLIVEIRA, M.G.; MICHELLON, G.; ORNAGHI, M.G.; PRADO, I.N. Glicerol e óleos essenciais na dieta de bovinos não castrados precoces Purunã terminados em confinamento sobre o desempenho e ingestão de alimentos. In:

REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 47., 2010, Salvador. **Anais**... Salvador: SBZ, 2010. 1 CD-ROM.

ZINN, A.; SHEN, Y. An evaluation of ruminal degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. **Journal of Animal Science,** Albany, v. 76, n. 5, p. 1280-1289, 1998.

ZINN, R.A.; OWENS, F.N. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal protein synthesis. **Canadian Journal of Animal Science,** Ottawa, v. 66, p. 157-166, 1986.

ZOTTI, C.A.; SILVA, S.L.; MARTELLO, L.S.; MEIRELLES, R.L; SILVA, A.P.S.; ALVAREZ, P.L; CANCIAN, P.H.; IANNI, A.C.; ZANONI, L.E.; LEME, P.R. Effects of different feed additives on performance and carcass traits of feedlot cattle. **Journal of Animal Science,** Albany, v. 90, suppl. 3, p. 627, 2012.

4 DESEMPENHO E METABOLISMO RUMINAL DE BOVINOS NELORE EM TERMINAÇÃO RECEBENDO ÓLEOS FUNCIONAIS DE CAJU E MAMONA EM SUBSTITUIÇÃO OU COMBINAÇÃO COM MONENSINA SÓDICA EM DIETAS RICAS EM COPRODUTOS

Resumo

Para o experimento de desempenho foram utilizados 160 machos, não castrados, da raça Nelore (310 ± 20 kg), alojados por 120 dias em 16 baias, com o objetivo de comparar dietas base composta por 5% de bagaço de cana, 50 % de farelo úmido de glutem de milho, 43,5% de casca de soja, 1,5% de núcleo mineral, contendo aditivos, monensina sódica ou extrato óleo de caju e mamona, e sua combinação (T1 – Controle, que consistiu na dieta base, sem aditivos; T2 – dieta base com adição de monensina sódica na dose de 25mg/kg MS; T3 – dieta base com adição de Essential® na dose de 500mg/kg MS; e T4 – dieta base com adição de monensina sódica (25mg/kg MS) e Essential® (300mg/kg MS). A suplementação com óleo funcional sozinho ou em combinação com monensina, melhorou o GPD dos animais sem efeito na eficiência alimentar em comparação com a monensina, durante os primeiros 34 dias do período experimental. A monensina sódica reduziu CMS e o GPD dos animais, em comparação ao uso de OF. Porém, não foram observados efeitos na eficiência alimentar dos animais aos 34 dias. Para 120 dias de confinamento, todos os aditivos foram equivalentes para GPD. O uso de monensina aumentou a eficiência alimentar aos 120 dias, porém não houve diferença para características de carcaça. A monensina apresentou maior PCf que os tratamentos controle e OF. No experimento metabólico não foi observada diferença para CMS, digestibilidade da MS e comportamento alimentar. O uso de OF reduziu a proporção molar de butirato. Foi observado menor consumo de oxigênio por batimento pelos animais recebendo OF. No entanto, a produção de calor e de metano foi similar para todos os tratamentos. Não houve diferença para a produção assintótica de gás ou *lag time* durante a fermentação *in vitro*. A suplementação com OF melhora o desempenho de bovinos na fase inicial do confinamento em relação ao não uso de aditivos ou ao uso de monensina sódica, porém essa vantagem não se mantêm ao longo do período total de confinamento.

Palavras-chave: Óleos essenciais; Caju; mamona; Adaptação

Abstract

For the performance trial were used 160 male, not castrated, Nellore (310 ± 20 kg), housed for 120 days in 16 pens, with the aim of comparing basal diets, wich consist of 5% of sugar cane bagasse, 50% moist corn gluten feed, 43.5% of soybean hulls, 1.5% mineral mixture, containing additives monensin or extract of cashew oil and castor oil, and their combination. The treatments were: control, which consisted of the base diet without additives, T2 - based diet with added sodium monensin at a dose of 25mg / kg DM, T3 - based diet with added Essential® at a dose of 500mg / kg DM, and T4 - based diet with the addition of monensin sodium (25mg / kg DM) and Essential® (300mg / kg DM). The functional oil supplementation alone or in combination with monensin, improved ADG animals without effect on feed efficiency compared with the monensin during the first 34 days of the experimental period . The

monensin reduced DMI and ADG of animals, compared to the use of OF. However, there were no effects on the feed efficiency of the animals after 34 days. 120 days of confinement, all additives were equivalent to GPD. The use of monensin increased feed efficiency at 120 days, but there was no difference for carcass traits. The monensin presented higher PCF that the treatments control and OF. Metabolic experiment was no difference for CMS, DM digestibility and feeding behavior. The use of reduced OF molar ratio of butyrate. It was observed lower oxygen consumption by the animals getting beat OF. However, heat and methane was similar for all treatments. There was no difference for the asymptotic gas production or lag time during in vitro fermentation. OF supplementation improves performance of cattle in confinement of the initial phase with the non-use of additives or the use of monensin, but this advantage is not maintained over the total period of confinement.

Keywords: Essential oils; Cashew; Castor beans; Adaptation

4.1 Introdução

A síntese de proteína microbiana e produção de AGV constituem grande vantagem evolutiva dos ruminantes e, ao formular dietas para estes animais, os nutricionistas têm como regra geral, a busca pela otimização do processo fermentativo no rúmen, visando maximizar a disponibilidade de energia e de proteína para os animais. Entretanto, o processo fermentativo no rúmen acarreta perdas de energia na forma de metano e de calor (HRISTOV et al., 2013; BEAUCHEMIN; McGINN, 2006; OWENS et al., 1986) e de proteína na forma de amônia (McINTOSH, et al., 2003). Distúrbios metabólicos, como acidose e timpanismo (NAGARAJA; LENCHTENBERG, 2007), podem ter sua incidência aumentada quando bovinos em confinamento são submetidos à dietas com alta densidade energética. Dessa maneira, além do balanceamento adequado da dieta, o uso de estratégias e produtos não nutricionais na alimentação de bovinos torna-se cada vez mais uma ferramenta imprescindível na sustentabilidade do sistema. O uso de ionóforos na alimentação de bovinos é pratica consagrada na redução de perdas metabólicas (BERGEN; BATES, 1987) geradas por ineficiência (produção de metano e perda de nitrogênio amoniacal) no processo fermentativo ou ainda na prevenção de distúrbios metabólicos como a acidose (NAGARAJA; MILLER, 1989) e timpanismo (NAGARAJA; LENCHTENBERG, 2007). No entanto, por serem agentes antibióticos, seu mérito vem sofrendo críticas, decorrente das possíveis consequências do uso prolongado de antibióticos no desenvolvimento de microrganismos patogênicos resistentes a substâncias alopáticas da medicina humana. Na União Europeia, o uso de ionóforos foi banido desde janeiro de 2006. Esse fato tem estimulado a pesquisa

com produtos alternativos para controle específico de populações microbianas a fim de modular a fermentação ruminal (BENCHAAR et al., 2008; PATRA, 2011; KHIAOSA-ARD; ZEBELI, 2013). Plantas produzem vários compostos secundários, para se protegerem de insetos, animais, fungos ou bactérias. Princípios ativos de óleos extraídos de determinadas plantas podem interagir com a membrana celular microbiana e inibir o desenvolvimento de algumas bactérias gram-positivas e gram-negativas (BURT, 2004; HELANDER et al., 1998). Como resultado de tal inibição, a adição de alguns extratos de planta no rúmen tem resultado em aumento na concentração de propionato, redução na concentração relativa de acetato (GUNAL; ISHLAK; ABUGHAZALEH, 2013) e redução da produção de metano (BEAUCHEMIN; McGINN, 2006). Apesar do número considerável de trabalhos conduzidos nos últimos anos com óleos essenciais e óleos funcionais, a maioria são estudos "*in vitro*" e de curta duração, os produtos testados são muitas vezes misturas de diversos compostos e pouco se sabe sobre a dose ótima de cada mistura. Além disso, há a necessidade de se estudar possível adaptação dos microrganismos ruminais aos produtos e, finalmente, há poucos trabalhos publicados sobre o uso desses aditivos para bovinos de corte em confinamento (BENCHAAR et al., 2008; PATRA; 2011; KHIAOSA-ARD; ZEBELI; 2013).

Neste trabalho considerou-se a hipótese de que o *blend* de óleos funcionais de caju e mamona (Essential®) altera o metabolismo ruminal, promovendo alterações no perfil fermentativo e melhoria de eficiência alimentar dos animais.

O objetivo com o presente estudo foi avaliar o uso de óleos funcionais como aditivo alternativo ou em combinação com monensina sódica (Rumensin®) sobre o consumo de matéria seca, ganho de peso diário, eficiência alimentar, digestibilidade dos nutrientes, características de carcaça, perfil de AGV, pH e amônia ruminais, digestibilidade "in vivo," produção de proteína microbiana, produção de calor e metano de animais zebuínos terminados em confinamento. Também foi verificada a produção de gás *in vitro* com o uso dos tratamentos aplicados no experimento de desempenho.

4.2 Material e Métodos

Os procedimentos adotados nestes experimentos foram aprovados pela Comissão de Ética e Pesquisa com Uso de Animais (CEUA) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), Campus de Piracicaba, SP. Os experimentos foram conduzidos nas instalações de Bovinocultura de Corte do Departamento de Zootecnia da USP-ESALQ.

4.2.1 Experimento de desempenho e características de carcaça

Animais e tratamentos e análises

Foram utilizados 160 machos Nelore, não castrados, com peso vivo inicial médio de 310 ± 20kg, alojados em 16 baias (7 × 15 m) descobertas e não concretadas, alimentados com dieta base de coprodutos contendo os aditivos monensina sódica, extrato de óleo de caju e mamona e a combinação de ambos aditivos. O experimento teve início em janeiro de 2013 com duração de 120 dias. Os tratamentos foram: T1 – Controle, que consistiu em dieta base, sem aditivos; T2 – dieta base com adição de monensina sódica na dose de 25 mg/kg MS; T3 – dieta base com adição de Essential® na dose de 500 mg/kg MS; e T4 – dieta base com adição de monensina sódica (25 mg/kg MS) e Essential® (300 mg/kg MS), como mostrado na Tabela 1. Todos os animais receberam uma dieta base, à qual foi adicionada dos aditivos via núcleo mineral. A dieta base era composta por 5% de bagaço de cana, 50 % de farelo úmido de glutem de milho, 43,5% de casca de soja, 1,5% de núcleo mineral.

Tabela 1 - Dietas a base de coprodutos utilizadas no experimento de desempenho para machos Nelores, não castrados em terminação recebendo aditivos alimentares.

	Tratamentos			
(% MS)	Controle	Monensina[1] 25 ppm	OF[2] 500 ppm	Mon+OF 25+300 ppm
Bagaço de cana	5,0	5,0	5,0	5,0
Farelo úmido de glutem de milho[3]	50,0	50,0	50,0	50,0
Casca de soja	43,5	43,5	43,5	43,5
Mistura mineral	1,5	1,5	1,5	1,5
Monensina (ppm)	-	25	-	25
OF (ppm)	-	-	500	300

[1] Monensina sódica 10% (Elanco - Rumensin®). [2] Produto comercial (Oligobasics - ESSENTIAL®), contendo óleos de rícino (ácido ricinoleico é o ácido graxo ativo) e óleo de caju (cardol e cardanol). [3] Cargill - GoldenMill.

De acordo com o fabricante (Oligo BASICS), o Essential® é um produto cujos componentes ativos são óleos funcionais (óleo de rícino e o óleo de casca de caju). O produto apresenta ainda a vantagem de ser analisado, pela tecnologia NIRS (análise para infravermelho próximo), apresentando níveis de compostos ativos conhecidos e garantidos. Todas as partidas do produto são testadas. Os compostos bioativos do Essential® são o cardol e cardanol (presente no extrato de caju) e ácido ricinoleico (presente no extrato de mamona).

Para o desempenho, foram avaliados o consumo de matéria seca, ganho de peso diário, eficiência alimentar, características de carcaça (peso da carcaça quente, rendimento de carcaça, espessura de gordura e área de olho de lombo) e comportamento animal. Através dos dados de Consumo de Matéria Seca (CMS) e Ganho de Peso Diário (GPD) obtidos foram calculados os valores de energia líquida das rações.

Os animais experimentais foram recriados em pastagem e, quando recebidos na ESALQ, foram alimentados com dieta rica em forragem por cinco dias. Após 16 horas de jejum alimentar, os animais foram pesados, vacinados contra clostridioses (Merial-Sintoxan®) e tratados com vermífugo Albendazol 10% (OuroFino-Ricobendazole®) e receberam vitamina ADE (Vallée-Vallée Vita®). Desde o primeiro dia do período experimental, os animais receberam as dietas finais com os respectivos tratamentos. O critério adotado de adaptação dos animais às rações experimentais foi o de limitação de consumo. No primeiro dia, a dieta (base seca) foi ofertada na quantidade de 1,5% do peso vivo médio de cada unidade experimental (baia). A partir de então permitiu-se aumento máximo de oferta de 400 g/animal/dia de matéria seca da dieta, com ajustes mediante a resposta de cada baia.

Diariamente, às 08:00 horas, as dietas foram preparadas e fornecidas na forma totalmente misturada com uso de misturador equipado com balança eletrônica (SILTOMAC S-2.3). A quantidade de alimento fornecido foi ajustada diariamente para manter no máximo 3% de sobras. As sobras foram retiradas duas vezes por semana e pesadas e amostradas para determinação de MS a 105°C para avaliação do consumo por baia. Para esta avaliação, foi considerada a MS média do ofertado e a MS da sobra de cada baia.

Os animais foram pesados após jejum alimentar de 16 horas no início (dia 0) e fim (dia 120) do experimento. Foi realizada uma pesagem intermediária, aos 34 dias sem jejum, sendo adotado o fator de correção de 4% para efeito de enchimento. Foram adotados dois subperíodos experimentais, para estimativa de ganho de peso, consumo e eficiência alimentar, a adaptação, o período total, para isolar o efeito de diluição pelo tempo.

Após o abate dos animais, foi determinado o rendimento de carcaça quente. As lesões e abcessos hepáticos foram contabilizados e mensurados com paquímetro (0,05mm de precisão) em dois diâmetros (maior e menor) perpendiculares. Após resfriamento por 24 horas a 0ºC, as meia-carcaças foram retiradas da câmara fria e serradas, em corte transversal, entre a 12ª e a 13ª costelas, para expor o músculo *longíssimos dorsi* para a medida de espessura de gordura subcutânea, obtida no terceiro quarto da altura desse músculo a partir da coluna vertebral, e para a leitura da área de olho de lombo (AOL). As leituras de AOL foram obtidas utilizando-se uma transparência graduada em centímetros quadrados (grid LinBife, LUCHIARI FILHO, 2000) que foi fotografada para leitura em software para determinação da área total (ImageToll 3.0). A espessura de gordura foi mensurada com uso de paquímetro digital de precisão de 0,05 mm.

Antes do início do experimento, todos os ingredientes das rações foram amostrados e analisados para a formulação definitiva das rações. Após o início do período experimenta,l todos os ingredientes foram amostrados semanalmente. Ao final, as amostras foram compostas e processadas para posteriores análises laboratoriais.

Amostras dos ingredientes e das rações totais foram descongeladas e secas em estufas com ventilação forçada (55ºC) por 72 horas e moídas em moinhos tipo “Wiley” providos de peneiras de 5,0 e posteriormente 1,0 mm. Após o processamento, as amostras foram analisadas para MS (12 horas em estufa a 105°C), matéria orgânica (MO) (cinco horas em mufla a 600°C). O teor de extrato etéreo (EE) foi determinado de acordo com a metodologia proposta pela AOAC (1990). O conteúdo de N foi determinado pelo método de combustão de Dumas (Leco FP-2000 N analyzer) de acordo com Sweeney (1989). Os teores de FDN, FDA e lignina foram determinados usando o método de Van Soest et al. (1991), com

sulfito de sódio para todas as amostras e α – Amilase para as amostras de concentrado e dieta total.

Cálculo de energia líquida das rações

Para os cálculos dos valores de energia líquida observada das rações foram utilizados os dados de IMS e GPD obtidos nos experimento. Para tal, foram utilizadas as fórmulas a seguir, segundo a metodologia proposta por Zinn e Shen (1998). O objetivo foi comparar o resultado encontrado com o obtido no ensaio de desempenho e o valor previsto por Weiss (1992).

As exigências energia de ganho (E_g) e de manutenção (E_m) dos animais foram calculadas pelas fórmulas 1 e 2, respectivamente. Calculadas as exigências energéticas relacionadas aos ganhos de peso vivo (kg/dia) e aos pesos metabólicos (kg) dos animais durante o período total do experimento, foram então calculados os valores de energia líquida das rações (Mcal/kg de MS) para manutenção (EL_m) e ganho (EL_g) através das fórmulas 3 e 4.

(1) $E_g = [0{,}0493\ PC^{0,75}]\ GPD^{1,097}$; (NRC, 1984)
(2) $E_m = 0{,}077\ PC^{0,75}$; (Lofgreen& Garrett, 1968; citados por Zinn&Shen, 1998)
(3) $EL_m = (- b - ((b^2) - (4ac))^{0,5}))/(2a)$; (Zinn&Shen, 1998), Em que

$a = -0{,}877\ IMS$
$b = 0{,}877\ E_m + 0{,}41\ IMS + E_g$
$c = -0{,}41\ E_m$

(4) $EL_g = 0{,}877\ EL_m – 0{,}41$; (Zinn&Shen, 1998), Em que

E_g = exigência em energia para ganho (Mcal/dia)
E_m = exigência em energia para manutenção (Mcal/dia)
EL_m = energia líquida de manutenção (Mcal/kg de MS)
EL_g = energia líquida de ganho (Mcal/kg de MS)

Delineamento experimental e análise estatística

Foi adotado o delineamento em blocos completos aleatorizados. Os animais foram distribuídos nos blocos de acordo com o peso vivo inicial. Os dados foram avaliados pelo procedimento MIXED do programa estatístico SAS. Para todos os parâmetros analisados, a baia foi utilizada como unidade experimental. Todos os dados foram testados para se verificar a distribuição normal dos erros, utilizando-se

o proc univariate do SAS. Foi feita uma análise exploratória dos dados, envolvendo teste para homogeneidade da variância, teste para medidas discrepantes e transformação potência ótima de Box e Cox (1964). O modelo estatístico adotado foi o seguinte:

$$y_{ij} = \mu + T_i + B_j + e_{ij} ,$$

em que:

y_{ij} é o valor observado na unidade que recebeu o i-ésimo tratamento no j-ésimo bloco;

μ é a média geral;

T_i é efeito do i-ésimo tratamento;

B_j é o efeito do j-ésimo bloco;

e_{ij} é o erro aleatório na associado ao j-ésimo bloco e i-ésimo tratamento.

4.2.2 Experimento Metabólico

Foram utilizados oito machos castrados da raça Nelore, canulados no rúmen, com peso corporal inicial de 339 ± 30 kg, confinados em baias não concretadas e descobertas. Foram avaliados características ruminais, sanguíneas, produção de proteína microbiana, consumo de matéria seca, digestibilidade dos nutrientes, comportamento animal, estimativa da produção de metano e produção de calor.

Os animais foram pesados, vacinados contra clostridioses (Merial-Sintoxan®) e tratados com vermífugo Albendazol 10% (Ouro Fino-Ricobendazole®) e receberam vitamina ADE (Vallée-Vallée Vita®) e distribuídos em dois Quadrado Latino 4 x 4. Primeiramente os animais foram adaptados à dieta de alto concentrado pelo método de dieta final com restrição. Iniciou-se com o fornecimento de 1,5% do peso corporal, com acréscimos diários de 400g de MS até estabilizarem o consumo. Os períodos de adaptação aos aditivos foram de 15 dias, seguidos de 6 dias de coleta. A ração foi fornecida uma vez ao dia, às 8:00 h. O consumo foi ajustado para ter entre 3 e 5 % de sobras, que foram coletadas duas vezes por semana ou após a ocorrência de chuva. Foram coletadas amostras dos ingredientes a cada partida, da ração ofertada uma vez por semana e das sobras duas vezes por semana, as quais foram congeladas a – 18 °C para posteriores análises.

Todos os animais receberam uma dieta base, à qual foi adicionada dos aditivos via núcleo mineral. A dieta base era composta por 5% de bagaço de cana, 50 % de farelo de glutem de milho, 43,5% de casca de soja e 1,5% de núcleo mineral.

Os tratamentos foram: T1 – Controle, que consistiu em dieta base, sem aditivos; T2 – dieta base com adição de monensina sódica na dose de 25 mg/kg MS; T3 – dieta base com adição de Essential® na dose de 300 mg/kg MS; e T4 – dieta base com adição de monensina sódica (25 mg/kg MS) e Essential® (300 mg/kg MS), como mostrado na Tabela 5.

Variáveis ruminais: produção de ácidos graxos voláteis, pH e amônia ruminal

Foram tomadas amostras do fluído ruminal (100 mL) durante o 2º dia de coleta de cada período experimental nos tempos 0, 1, 2, 3, 5, 7 e 9 horas após o fornecimento matinal da ração. De cada tempo de amostragem, uma alíquota de 50 mL foi acidificada com 1mL de ácido sulfúrico 50%, conforme metodologia utilizada por Broderick e Reynal (2009) para análises de ácidos graxos voláteis e N-amoniacal ruminal. O pH foi medido com potenciômetro digital (Tecnopon, mPA – 210P) imediatamente após a coleta.

Coleta de urina e produção microbiana

A urina dos animais foi coletada no dia cinco de cada período de coleta, quatro horas após o fornecimento das dietas para a determinação da produção de metano e para a determinação dos derivados de purina e cálculo para estimativa da síntese microbiana. A urina foi coletada na forma "*spot*" (uma amostra por animal) por meio de estímulo via massagem no prepúcio. Uma alíquota de 10 mL da urina coletada foi filtrada em gaze, diluída em 40 mL de H_2SO_4 (0,072 *N*) conforme descrito por Broderick e Reynal (2009), e armazenada à -18ºC para posteriores análises.

Para a estimativa de produção de metano (Midwood et al., 1989, 1993) foi analisado o N-total da urina de acordo com o método *Kjeldahl* (AOAC, 1984)

Para a determinação da síntese microbiana, as análises de purinas foram realizadas pelo Laboratório de Nutrição Animal do CENA/USP, em que foram determinadas as concentrações de alantoína, creatinina e ácido úrico por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). As amostras foram centrifugadas a 2000 RPM. Dois mL do sobrenadante foram transferidos para outro frasco, onde foram adicionados 2,75 mL do tampão A (solução de $NH_4H_2PO_4$ 0,0025M) e 0,25 mL de padrão de oxipurinol. Após homogeneização em vórtex, 1 mL da solução foi filtrado em membrana PTFE 0,45 µm e armazenadas nos *vials* para análise cromatográfica.

Para os cálculos de síntese microbiana, a concentração de creatinina foi utilizada para estimar o volume de urina, assumindo o valor proposto por Chizzotti et al. (2008) de 0,213 mmol/kg PC. Após o cálculo do volume urinário e tendo as concentrações de alantoína e ácido úrico foi calculado a excreção diária de derivados de purinas de acordo com Chen e Gomes (1992). A contribuição endógena dos derivados de purina foi tida com 0,512 mmol/kg de peso metabólico (GONZALEZ-RONQUILLO et al., 2003) e descontado do valor de excreção de derivados de purinas. A recuperação das purinas absorvidas como derivados de purina na urina foram tidos como 74% (GONZALEZ-RONQUILLO et al., 2003). Assim, o cálculo de purinas absorvidas foi realizado conforme equação abaixo:

$$\text{Purinas absorvidas (mmol } dia^{-1}) = \frac{Excreção\ DP - contribuição\ endógena}{Recuperação\ de\ purinas\ na\ urina}$$

A partir da quantificação das purinas absorvidas, calculou-se o N microbiano assumindo que a quantidade de N das purinas foi constante e equivalente a 70mg de N/mmol e a digestibilidade intestinal foi de 83% (CHEN; GOMES, 1992). A relação N-purina:N-total assumida foi de 0,149 (ZINN; OWENS, 1986) e o valor de N microbiano foi multiplicado por 6,25 para obter-se a síntese de proteína microbiana. O calculo do N microbiano é apresentado na equação abaixo:

$$N\ microbiano\ (g\ dia) = \frac{Purinas\ absorvidas\ X\ quantidade\ de\ N\ nas\ purinas}{Relação\ Npurina{:}\ Ntotal\ x\ Dig.purinas\ x\ 1000}$$

Administração de marcadores externos e coleta de fezes

A produção fecal foi estimada em cada um dos oito animais do experimento utilizando-se o óxido de cromo e o dióxido de titânio como marcadores externo. Foram pesados 5 gramas de cada indicador em balança analítica e acondicionados em dobradura de papel toalha individual. Os marcadores foram administrado via cânula, diariamente às 6 e 18 horas, a partir dos últimos 10 dias do período de adaptação e durante os 4 primeiros dias do período de coleta. As fezes foram coletadas diretamente no reto duas vezes ao dia (6 e 18 horas) durante os 5 primeiros dias do período de coleta. Após serem coletadas, as amostras foram acondicionadas em caixa térmica e congeladas para análises posteriores. Para o período de coleta de fezes, os animais receberam 85% do consumo ad libitum apresentado até o período de coletas.

Comportamento animal

Foram tomadas medidas de comportamento animal (alimentação, ruminação e outras atividades) dos oito animais, em cada período. As observações foram feitas no 1° dia de coleta de cada período, durante 24 h em intervalos de 5 minutos

Consumo de oxigênio, estimativa da e produção de Calor e metano

Para a frequência cardíaca calibrada para o oxigênio consumido, a frequência foi monitorada durante todo o período experimental, utilizando frequencímetros POLAR®, cujos eletrodos foram ajustados ao tórax do animal por intermédio de uma cinta de neoprene. Os dados foram transmitidos via wireless em intervalos de 1 minuto e posteriormente, transmitidos a um computador por sensor infravermelho.

O oxigênio consumido por batimento cardíaco foi calculado a partir da mensuração simultânea da frequência cardíaca e do volume consumido de O_2 por um período de 15 minutos, de acordo com Brosh et al. (1998), realizada no último dia de cada período de coleta. O consumo de O_2 foi obtido com o equipamento EXHALYZER®V (ECOMedics, Suiça), o qual é composto por uma máscara em sistema respiratório de sistema fechado (TAYLOR et al., 1982), acoplada a um

analisador de gases, sendo a calibração feita com gás de concentração conhecida. Para minimizar o efeito do estresse do animal sobre as mensurações, a cada pesagem foi utilizado um protótipo da máscara para adaptá-lo à mesma, na tentativa de obtenção de pelo menos uma medida válida por animal. O consumo diário de O_2 foi, então, o consumo de O_2 por batimento multiplicado pelo total de batimentos cardíacos diários. A produção de calor diária foi o consumo total de O_2 assumindo 4,89 kcal/L de O_2 (NICOL; YOUNG, 1990). Este valor foi expresso em função do peso corporal metabólico do animal (kcal/kg $PC^{0.75}$.dia). A produção de calor (PCa) então foi estimada pela equação:

$$\mathrm{PCa}\left(\frac{kcal}{dia\ \times kg\ PC^{0,75}}\right) = \frac{BCD\ \times\ O_2BC\ \times\ 4{,}89\ kcal\ /\ L\ de\ O_2}{kg\ de\ PC^{0,75}}$$

em que: BCD = total de batimentos cardíacos diários; $\mathrm{O_2BC}$ = consumo de O_2 por batimento cardíaco (L/batimento)

Devido ao fato de estar relacionado com a capacidade de transporte de oxigênio pela corrente sanguínea, e possivelmente interferir nas medidas de consumo de O_2 e batimentos cardíacos, o hematócrito foi determinado concomitantemente às mensurações de O_2. Para este fim, foram coletadas amostras de sangue, cuja análise foi realizada pela técnica de micro-hematócrito, por meio de centrifugação a 3000 rpm durante 10 minutos em tubos micro-capilares e a leitura feita com régua graduada específica para este fim. A porção do hematócrito foi expressa em porcentagem do volume total.

Análises laboratoriais

As sobras foram analisadas semanalmente para MS (24 horas em estufa a 105°C) para ajuste do consumo. Amostras dos ingredientes e das rações totais foram descongeladas e secas em estufas com ventilação forçada (55ºC) por 72 horas e moídas em moinhos tipo “Wiley” providos de peneiras de 5,0 e posteriormente 1,0 mm. Após o processamento, as amostras foram analisadas para MS (12 horas em estufa a 105°C), matéria orgânica (MO) (cinco horas em mufla a 600°C). Para os ingredientes e dietas, o teor de extrato etéreo (EE) foi determinado de acordo com a metodologia proposta pela Associaton of Official Analytical Chemists – AOAC (1990). O conteúdo de N foi determinado pelo método de

combustão de Dumas (Leco FP-2000 N analyzer) de acordo com Sweeney (1989). Os teores de FDN, FDA e lignina foram determinados usando o método de Van Soest et al. (1991), com sulfito de sódio para todas as amostras e α – Amilase para as amostras de concentrado e dieta total misturada.

As amostras de fezes foram analisadas para as concentrações de cromo e titânio no laboratório de tecidos vegetais do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP. As amostras de fezes foram descongeladas, secas em estufa a 55°C durante 72 horas, moídas a 1 mm e as amostras coletadas de cada animal agrupadas de forma equivalente, com base na matéria seca, para compor uma amostra por animal por período. O teor de dióxido de titânio foi determinado segundo Myers et al. (2004). Uma amostra de 0,5 g de fezes foi digerida, por 2 horas, em temperatura de 400ºC, em tubos para determinação de proteína. Após a digestão, 10 mL de H_2O_2 (30%) foram adicionados lentamente e o material do tubo, transferido para um béquer e completado com água destilada até 100 g. Logo após esse procedimento o material do béquer foi transferido para balões de 100 mL e adicionados de mais 3 gotas de H_2O_2 (30%). Na digestão foram utilizados 15 mL de ácido sulfúrico e 5 g da mistura digestora para proteína (macro *Kjeldahl*). Uma curva padrão foi preparada com 0, 2, 4, 6, 8 e 10 mg de dióxido de titânio e as leituras realizadas em espectrofotômetro com comprimento de onda de 410 nm. Para análise da concentração de cromo, as amostras foram submetidas à digestão nitro-perclórica a quente (VEGA; POPPI, 1997) no Laboratório de Tecidos Vegetais do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP. O plasma resultante da digestão foi analisado para concentração de cromo pela técnica de espectrometria de emissão ótica por plasma acoplado indutivamente, no Laboratório de Análise Ambiental e Geoprocessamento do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP).

A produção fecal total (PFT) diária foi obtida com base na seguinte relação:

Excreção fecal (kg/dia) = Concentração de indicador administrado (mg) / Concentração do indicador nas fezes (mg/kg).

Delineamento experimental e análise estatística

Os animais foram distribuídas em dois Quadrado Latino 4 x 4. Os períodos de adaptação foram de 15 dias seguidos de 6 dias de coleta. Os dados foram avaliados através do procedimento MIXED do programa estatístico SAS. Para todos os parâmetros analisados, a baia foi utilizada como unidade experimental. Todos os dados foram testados para se verificar a distribuição normal dos erros, utilizando-se o PROC UNIVARIATE do SAS. Foi feita uma análise exploratória dos dados, envolvendo teste para homogeneidade da variância, teste para medidas discrepantes e transformação potência ótima de Box e Cox (1964). O menor BICC foi considerado como parâmetro para eleger a matriz a ser considerada.

$$y_{ijkl} = \mu + T_i + (A_j)Q_k + \mathrm{P}_l + \mathrm{e}_{ijkl} ,$$

em que:

y_{ijkl} é o valor observado na unidade que recebeu o i-ésimo tratamento no j-ésimo bloco;

μ é a média geral;

T_i é o efeito do i-ésimo tratamento;

A_j é o efeito do j-ésimo animal dentro do k-ésimo quadrado;

P_l é o efeito do l-ésimo período;

e_{ijkl} representa o erro aleatório na unidade experimental *ijkl.*

4.2.3 Experimento de Produção de Gás *in vitro*

As dietas experimentais foram incubadas para avaliação da cinética de fermentação ruminal in vitro, pela técnica semi-automática de produção cumulativa de gases, segundo Mauricio et al. (1999). O inóculo ruminal foi obtido de bovinos adultos, fistulados no rúmen e mantidos em pastagem, suplementos com 4 kg de concentrado comercial a base de milho, farelo de soja, uréia e sal mineral. O inóculo foi incubado com 1 g de amostra, sendo utilizadas 90 mL de meio de cultura e 10 mL de inoculo, em vidros de 160 mL, sendo para cada tratamento três repetições.

A pressão dos gases produzidos foi medida nos tempos 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 17, 20, 24, 28, 36, 48, 72 96 e 120 horas após a incubação, mediante o uso de um transdutor-medidor de pressão (PDL800). Do valor obtido em cada leitura foi subtraída a pressão obtida de vidros sem substrato (branco). Para a determinação

da produção de gás assintótica e tempo de colonização pelos microrganismos ruminais (*lag time*) foi utilizado do modelo de France et al. (1993).

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Experimento de Desempenho

Na Tabela 2 são apresentados os dados de desempenho animal nos primeiros 34 dias experimentais, ainda na fase de adaptação. A monensina sódica não melhorou o desempenho animal na fase de adaptação do confinamento (0 a 34 dias). A suplementação com óleo funcional sozinho ou em combinação com monensina, melhorou o GPD dos animais sem efeito na eficiência alimentar em comparação com o tratamento controle, durante os primeiros 34 dias do período experimental.

A suplementação exclusiva com óleos funcionais (OF) (Essential®) resultou em maior consumo de MS (P<0,05) dos animais em comparação com a monensina sódica e combinação óleos funcionais + monensina sódica. A combinação entre óleos funcionais e monensina resultou em CMS similar (P>0,05) ao tratamento com monensina exclusiva. Os animais do tratamento controle, sem aditivos, apresentaram CMS intermediário em relação aos demais, porém sem diferenças estatísticas (P>0,05).

O uso de OF à base de extrato de caju e mamona (Essential®) foi testado em bovinos Nelore, não castrados, recebendo dietas com: a) 30 mg de monensina/kg de MS (M30), b) 40 mg de monensina/ kg de MS (M40), c) 30 mg de monensina + 25 mg de virginiamicina/kg de MS (MV) e d) 400 mg Essential® (SILVA, 2014). Foi observado que animais consumindo dieta contendo OF tiveram consumo de matéria seca 18,4% maior (P=0,0188) que aqueles recebendo tratamento MV (6,56 × 5,35 kg/dia). Segundo o autor, o uso dos OF presentes foi eficiente em aumentar o consumo de alimentos em relação ao tratamento com combinação de monensina+virginiamicina já nos primeiros 21 dias de confinamento, com efeito observado a partir do terceiro dia, mesmo em sistema de adaptação abrupta à dieta de alto teor de concentrado, sendo observada a estabilidade no padrão de consumo (SILVA, 2014).

Em confinamentos com dietas de alta inclusão de concentrado, os animais

podem apresentar variações no consumo de matéria seca ao longo dos dias de confinamento, sendo que picos de consumo podem provocar acidose ruminal e diminuir o consumo de matéria seca (BRITTON et al., 1987). Oscilações acentuadas no consumo são indicativos de quadro de acidose subclínica (COOPER et al., 1999).

Tabela 2 - Desempenho de machos Nelore não castrados, na fase de adaptação (34 dias), recebendo dieta a base de coprodutos e com aditivos

	Controle	Monensina[1] 25ppm	OF[2] 500ppm	Mon+OF 25+300ppm	EPM	*P*[3] *value*
PCi, kg	310.14	310.52	310.23	310.11	15.54	0.7570
PCf, kg	365.34	361.32	367.02	366.91	14.64	0.1975
CMS, kg/d	8.94 ab	8.62 b	9.38 a	8.70 b	0.2835	0.0351
GPD, kg/d	1.66 xy	1.60 y	1.74 x	1.79 x	0.0513	0.0780
GPD/CMS	0.186	0.186	0.187	0.206	0.0088	0.1199

[1] Monensina sódica 10% (Elanco – Rumensin 100®); [2] Produto comercial (Oligobasics - ESSENTIAL®), contendo óleos de rícino (ácido ricinoleico é o ácido graxo ativo) e óleo de caju (cardol e cardanol); [3] Valores seguidos das letras a,b e c diferem entre si com valor de P<0,05 e valores seguidos das letras x, y e z diferem entre si com valor de P<0,10.

Bevans et al. (2005) observaram queda no consumo de MS já no segundo e quarto dias após o início do período de confinamento com dietas de alto grão. Quedas muito expressivas no consumo de MS podem estar associadas a distúrbios metabólicos, impedindo a expressão do potencial produtivo do animal. Além disso, cada dia em que o animal apresente baixo consumo representa um alongamento do período de alimentação. Quando maior o tempo de cocho para um dado desempenho, menor será a eficiência econômica por indivíduo confinado. Os tratamentos com Essential® foram eficazes em manter o consumo de MS maior que os demais tratamentos já nos primeiros dias (SILVA, 2014), permitindo maior consumo de MS no período de adaptação. No presente estudo, os animais consumindo os OF de caju e mamona apresentaram consumo de MS 8,1% superior aos animais consumindo tratamento com monensina sódica. Não foram observados sinais de acidose nos animais do experimento. Segundo Oliveira e Millen (2011), os sinais de acidose são reportados pelos confinadores (34% dos entrevistados) como o segundo maior problema de saúde animal no confinamento, perdendo apenas para enfermidades respiratórias, elencada como o primeiro problema de ordem sanitária por 40,6% dos confinadores considerados nas entrevistas. Neste sentido, o maior consumo de alimento pode configurar-se uma vantagem interessante,

principalmente para curtos períodos de confinamento, desde que resultem em ganhos de peso maiores também. É comum observar-se, no Brasil, confinamentos com 60 a 80 dias de duração (MILLEN et al., 2009).

Situações de estresse, como longos períodos de transportes, mudança de sistema de produção (pasto para confinamento), embarque e desembarque, que reduzem o consumo de MS, acrescidos ao estresse de adaptação nutricional e social do início do confinamento, comprometem o desempenho dos animais (CARROLL; FORSBERG, 2007; SWANSON; MORROW-TESCH, 2001). Neste experimento o uso de OF possibilitou maior consumo de MS em relação aos aditivos alternativos. O uso de OF pode aumentar o consumo de MS já nos primeiros dias de confinamento, no entanto, ao comparar dietas com uso de monensina sódica 40 ppm e combinação de monensina+virginiamicina, Silva (2014) não observou diferença entre os tratamentos. A mudança para dietas com elevada inclusão de concentrado pode ocasionar distúrbios alimentares, decorrentes do reflexo de fome, causado pelo menor volume de alimento ingerido, porém, com maior densidade energética (OWENS et al., 2007). Silva (2014), trabalhando com mudança abrupta de dieta (0 para 92% de concentrado), observou a mais rápida estabilização do consumo de MS (2 % do peso corporal) com o uso de OF em comparação ao uso de ionóforos.

A monensina sódica não melhorou (P>0,05) o ganho de peso (GPD) dos animais na fase inicial do confinamento (dia 1 ao 34) em comparação com o tratamento controle (sem aditivos). Por outro lado, a suplementação com OF exclusivo ou em combinação com monensina, aumentou o GPD (P<0,1) dos animais em comparação com a suplementação com monensina sódica exclusiva entre 9,4 e 11,8%, respectivamente. A eficiência alimentar dos animais não foi melhorada (P>0,05) pelo uso de aditivos na fase inicial de confinamento.

No trabalho de Silva (2014) foi observado peso corporal aos 21 dias 2,6 % maior (P=0,0011) para os animais consumindo ditas com 40 ppm de monensina ou 400 ppm de OF (342,6 e 342,3 kg, respectivamente) como aditivo, em comparação ao uso de monensina na dose de 30 ppm ou da combinação monensina-virginiamicina (334,9 e 332,0 kg, respectivamente). Entretanto, os dados de GPD dos animais obtidos em períodos curtos de avaliação precisam ser vistos com cautela, uma vez que pequenas diferenças de enchimento ruminal entre tratamentos

com valores diferentes de CMS podem comprometer a precisão das medidas.

O maior GPD dos animais suplementados com OF em comparação com a monensina sódica pode ser atribuído em parte ao maior CMS (0,76 kg/cab/dia) dos animais desse tratamento. Porém, o maior GPD da combinação monensina sódica com OF em comparação com a monensina sódica exclusiva não foi acompanhado por alterações no CMS. Os dados de digestibilidade da MS e os dados de fermentação ruminal (Experimento de metabolismo) não permitem explicar as diferenças em GPD entre os tratamentos.

Não houve (P>0,10) diferença para CMS entre os tratamentos (Tabela 3). O efeito negativo da monensina sódica no CMS em relação ao tratamento com OF, observado na fase inicial do confinamento (dia 1 ao dia 34) foi diluído ao longo dos 124 dias de período experimental total. Nos trabalhos revisados, a suplementação com OF resultou em maior CMS que com monensina sódica em dois estudos (BENCHAR et al., 2006; MEYER et al., 2009) e em CMS igual em um estudo (JEDLICKA et al., 2009).

A monensina sódica também não reduziu o CMS (P>0,10) em comparação com a dieta controle (sem aditivo). Este resultado difere do relatado nas principais revisões sobre o uso deste aditivo em dietas de bovinos terminados em confinamento com alto teor de grãos de cereais (GOODRICH et al., 1984; DUFFIELD; MERRILL; BAGG, 2012). A dieta utilizada neste estudo não continha grãos de cereais (amido) e sim coprodutos fibrosos como casca de soja e farelo proteinoso de milho úmido (wet corn gluten feed), ou seja, a dieta era rica em carboidratos não fibrosos. Em dietas com alto teor de forragem, como para animais mantidos em pastagens, a suplementação com monensina não altera o CMS (BRETSHNEIDER et al., 2008) e este comportamento pode ter ocorrido no presente estudo com a dieta utilizada.

Os animais que receberam monensina sódica ou a combinação monensina+OF apresentaram maior GPD (P<0,05) em comparação com o tratamento controle, enquanto o tratamento com OF apresentou resultado intermediário para GPD sem diferença estatística com os demais tratamentos (P>0,05). Apesar do peso corporal final maior (P<0,05) dos animais suplementados com monensina, estes não apresentaram peso de carcaça quente (PCQ) maior que dos demais tratamentos (P>0,05). O rendimento de carcaça (RC) não diferiu entre

os tratamentos (P>0,05), mas foi numericamente menor para monensina, o que anulou o efeito positivo de maior ganho de peso com este aditivo em relação aos demais tratamentos.

Tabela 3 - Desempenho e características de carcaça de touros Nelore recebendo dieta a base de coprodutos com aditivos.

	Controle	Monensina[1] 25ppm	OF[2] 500ppm	Mon+OF 25+300ppm	EPM	*P*[3] *value*
PCi, kg	310	310	310	310	15,54	0,7570
PCf, kg	485 b	500 a	490 b	493 ab	13,87	0,0101
GPD, kg	1,726 b	1,856 a	1,765 ab	1,818 a	0,0284	0,0379
CMS, kg	10,30	10,30	10,54	10,46	0,2148	0,6143
GPD/CMS	0,171 y	0,183 x	0,171 y	0,177 xy	0,0037	0,0773
EG, mm	4,47	4,45	4,91	4,46	0,1589	0,1465
PCQ, kg	269,8	265,3	268,6	270,6	6,2562	0,5206
RC, %	55,76	53,23	55,08	55,08	0,9611	0,1700
AOL, cm^2	64,03	63,1	65,35	66,08	1,4359	0,4980

[1] Monensina sódica 10% (Elanco - Rumensin®); [2] Produto comercial (Oligobasics - ESSENTIAL®), contendo óleos de rícino (ácido ricinoleico é o ácido graxo ativo) e óleo de caju (cardol e cardanol); [3] Valores seguidos das letras a,b e c diferem entre si com valor de P<0,05 e valores seguidos das letras x, y e z diferem entre si com valor de P<0,10.

Em virtude do maior GPD com mesmo CMS, a monensina sódica aumentou (P<0,1) a eficiência alimentar dos animais em comparação com o tratamento controle e o tratamento com OF. O aumento de 7% na eficiência alimentar (GPD/CMS) em comparação ao tratamento controle está de acordo com os dados revisados por Goodrich et al. (1984) e com os dados revisados por Duffield et al. (2012) para as dietas típicas dos confinamentos americanos das décadas de 70 e 80, com teores de energia próximos ao da dieta utilizada no presente experimento. A combinação monensina + OF não resultou em benefício em comparação com a monensina exclusiva (P>0,05) quanto à eficiência alimentar.

As características de carcaça, como peso de carcaça quente, espessura de gordura subcutânea e rendimento de carcaça não foram afetados pelos tratamentos (P>0,05). Na literatura não há relatos consistentes de que o uso de monensina sódica (GOODRICH et al., 1984; DUFFIELD; MERRILL; BAGG, 2012) afete positiva ou negativamente as características de carcaça de bovinos em terminação. Entretanto, em virtude do maior GPD (P<0,05) e consequente maior PC final (P<0,05) dos animais suplementados com monensina sódica, era esperado maior peso de carcaça quente dos animais desse tratamento, que não ocorreu em virtude

do rendimento de carcaça numericamente menor, porém não diferente estatisticamente (P>0,05).

Assim como no presente estudo, Meyer et al. (2009) não detectaram diferenças para peso corporal final ou peso de carcaça quente para animais recebendo dietas sem aditivo, com monensina, OF ou combinação desses aditivos durante 170 dias de alimentação. Jedlicka et al. (2009), comparando os OF do Essential® separado ou combinado com monensina não encontraram diferenças para as características de peso corporal final e rendimento de carcaça. Da mesma forma, Zotti et al. (2012) não verificaram alteração no peso de carcaça quente e característica de carcaça com a mesma fonte de OF na dose de 500 mg/kg MS. No estudo conduzido por Chaves et al. (2008), ao avaliarem três diferentes tipos de óleos funcionais (*Cinnamonum cassia, Allium sativum e Juniperus communis*) em comparação com o tratamento sem aditivos, não foram encontradas diferenças para rendimento de carcaça.

Entretanto, Zawadzki et al. (2010) testaram o mesmo produto comercial contendo OF do presente estudo para bovinos em terminação e observaram aumento significativo (P=0,06) do peso de carcaça quente dos animais suplementados com OF em comparação com monensina sódica. Silva (2014) também testou o mesmo produto comercial com OF do presente estudo e também relatou efeito positivo (P=0,08) dos OF em aumentar o PCQ (298,56 x 281,03 kg) em comparação com monensisa sódica (30 ppm/kg MS).

Na Tabela 4 são apresentados os valores de energia líquida de ganho e de mantença oferecidos nas dietas, obtidos com base no desempenho dos animais. Não houve diferença (P>0,1) entre os tratamentos para os valores de energia das dietas. Nuñez et al. (2013), com uso de aditivos para animais suplementados com a associação ionóforo + virginimacina, observaram menor CMS, porém sem diferença para GPD e eficiência alimentar. No trabalho dos autores, a suplementação com os aditivos antibióticos ionóforos e não ionóforos (monensina + virginiamicina) melhorou (P<0,05) a eficiência do uso da energia em 32% quando comparado com os valores para animais recebendo somente o ionóforo. De acordo com os autores, o aditivo age alterando padrões de fermentação ruminal, aumentando a eficiência de utilização da energia da dieta. Assim como Silva (2014), para este estudo não foram encontrados abcessos hepáticos nos fígados dos animais abatidos.

Tabela 4 - Energia líquida para ganho e para mantença segundo Zinn e Shen (1998) para novilhos Nelore recebendo dietas a base de coprodutos com aditivos alimentares.

	Tratamentos				EPM	*P*[3] *value*
	Controle	Monensina[1] 25 ppm	OF[2] 500ppm	Mon+OF 25+300ppm		
EL observada da ração						
Manutenção	1,77	1,87	1,77	1,82	0,028	0,1088
Ganho	1,15	1,23	1,15	1,19	0,024	0,1088
EL, observado/esperado						
Manutenção	0,86	0,90	0,86	0,88	0,013	0,1088
Ganho	0,94	1,01	0,93	0,97	0,020	0,1074

[1] Monensina sódica 10% (Elanco - Rumensin®); [2] Produto comercial (Oligobasics - ESSENTIAL®), contendo óleos de rícino (ácido ricinoleico é o ácido graxo ativo) e óleo de caju (cardol e cardanol).
[3] Valores seguidos das letras a,b e c diferem entre si com valor de P<0,05 e valores seguidos das letras x, y e z diferem entre si com valor de P<0,1.

4.3.2 Experimento metabólico

Na Tabela 5 são apresentadas as dietas e sua composição bromatológica. Os aditivos testados não afetaram (P>0,05) o CMS, a DMS, o tempo de alimentação, de ruminação e de outras atividades, assim como o tempo de cada refeição. Entretanto, os aditivos testados reduziram (P<0,05) o número de refeições diárias dos animais em relação ao tratamento controle, sem aditivos. A ausência de efeito dos aditivos no CMS foi consistente com o experimento de desempenho animal. Entretanto, na grande maioria dos trabalhos de pesquisa tem sido relatado de forma consistente o efeito redutor de CMS para bovinos confinados, decorrentes do uso da monensina sódica (GOODRICH et al., 1984; DUFFIELD; MERRILL; BAGG, 2012).

O mecanismo de modulação de consumo dos ionóforos pode ser em função de gerar uma experiência olfativa ou gustativa desagradável, ocasionando uma aversão condicionada ao desconforto proveniente do próprio alimento como, palatabilidade, textura, aparência visual e por fatores relacionados ao animal, como o estado emocional e aprendizado (MERTENS, 1994). O aumento da densidade energética da dieta com uso de monensina sódica pode ser fator modulador do consumo animal (NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC, 1996). Com relação aos OF, a ausência de efeito destes no CMS em relação à dieta controle está de acordo com os dados de Benchaar et al. (2006), Jedlicka et al. (2009), Meyer et al. (2009) e com o experimento anterior de desempenho animal.

Tabela 5 - Ingredientes e composição das dietas ricas em coprodutos, fornecidas para novilhos Nelore em terminação recebendo aditivos alimentares.

Ingredientes, % MS	Controle	Monensina[1] 25 ppm	OF[2] 300 ppm	Mon+OF 25+300 ppm
Bagaço de cana	5,0	5,0	5,0	5,0
Farelo úmido de glutem de milho[3]	50,0	50,0	50,0	50,0
Casca de soja	43,5	43,5	43,5	43,5
Núcleo mineral	1,5	1,5	1,5	1,5
Monensina (ppm)	-	25	-	25
OF (ppm)	-	-	300	300
Composição bromatológica, % MS				
MS, %MV	59,22	59,07	59,20	59,31
PB	17,09	17,79	17,59	17,05
MM	7,24	7,20	5,43	6,83
EE	1,67	1,71	1,72	1,73
FDN	62,68	61,42	61,92	62,39

[1] Monensina sódica 10% (Elanco - Rumensin®); [2] Produto comercial (Oligobasics - ESSENTIAL®), contendo óleos de rícino (ácido ricinoleico é o ácido graxo ativo) e óleo de caju (cardol e cardanol); [3] Cargill - GoldenMill.

Na Tabela 6 estão os resultados para comportamento animal e consumo de matéria seca dos bovinos Nelore, castrados, recebendo dieta base rica em coprodutos e diferentes aditivos.

É consenso entre nutricionistas que o uso de monensina sódica pode contribuir para a redução do risco de acidose em confinamentos comerciais em virtude da redução na produção de lactato (NAGARAJA et al., 1982) e de um maior número de refeições diárias com menor volume consumido por refeição (ERICKSON et al., 2003; STOCK et al., 1995). O aumento no número de refeições ao longo do dia é relacionado a uma maior estabilidade no padrão de fermentação ruminal. Entretanto, no presente estudo não foi observado benefício do uso de monensina no aumento do número de refeições. Também não foi observado efeito positivo do uso de OF nessa variável. Tager e Krause (2011) não observaram efeito no CMS, número de refeições, tempo de ruminação e tempo de alimentação para bovinos recebendo dietas com dição de OF como aditivo alimentar.

Tabela 6 - Consumo (CMS), digestibilidade da MS (DMS) e comportamento ingestivo de novilhos Nelore alimentados com dietas ricas em coprodutos com aditivos alimentares

	Controle	Monensina[1] 25 ppm	OF[2] 300 ppm	Mon+OF 25+300ppm	EPM	*P*[3] *value*
CMS, kg/d	7.8	7.9	8.1	7.7	0.69	0.6992
DMS.cromo	62.75	57.46	63,06	59,57	11.01	0,1906
DMS.titânio	68,46	66,42	65,36	63,06	2,40	0,4835
Alimentação, min	169	148	154	176	18	0.4483
Ruminação, min	142	121	124	145	21	0.5546
Outras[4], min	1110	1164	1148	1111	33	0.3327
N° refeições, ref/d	12.9 a	8.0 b	6.9 b	9.5 b	1.59	0.0114
Tempo/ref, min/ref	16	19	21	21	3.55	0.3572
Peso Corporal, kg	435	435	440	383	20	0.8666

[1] Monensina sódica 10% (Elanco - Rumensin®).
[2] Produto comercial (Oligobasics - ESSENTIAL®), contendo óleos de rícino (ácido ricinoleico é o ácido graxo ativo) e óleo de caju (cardol e cardanol).
[3] Valores seguidos das letras a,b e c diferem entre si com valor de P<0,05 e valores seguidos das letras x, y e z diferem entre si com valor de P<0,1.
[4] Atividades que não alimentação e ruminação, como ócio e interações sociais.

Na Tabela 7 são apresentados os valores para concentração de amônia e pH ruminal, perfil fermentativo e síntese de proteína microbiana. Não houve diferença (P>0,10) entre os tratamentos para a concentração de amônia, ácido acético, ácido propiônico, isobutírico e isovalérico. Os animais recebendo dieta com monensina sódica apresentaram menor pH ruminal (P<0,05) dem comparação com o tratamento controle, enquanto que a inclusão de OF na dieta reduziram as concentrações e proporções molares de butirato (P<0,05), a concentração molar de valerato (P<0,05) e de AGV totais (P<0,1) no fluido ruminal.

O pH ruminal dos animais estava dentro da faixa considerada normal para todos os tratamentos. Valores de pH de 5,6 e 5,2 são considerados os limites para a caracterização do quadro de acidose aguda e crônica, respectivamente (OWENS et al., 1998). A medida que o pH ruminal diminui, reduz-se a amplitude e a frequência dos movimentos ruminais. Em pH próximo de 5,0 pode ocorrer paralisia ruminal (BLOOD et al., 1979).

Tabela 7 - Concentração ruminal de amônia, pH, proteína microbiana e perfil de ácidos graxos voláteis de novilhos Nelore alimentados com dietas a base de coprodutos, com uso de óleos funcionais, monensina sódica ou sua combinação como aditivos alimentares

	Controle	Monensina[1] 25 ppm	Essential[2] 300 ppm	Mon+Ess 25+300 ppm	EPM	*P valor*
Amônia, mg/dL	11.49	9.59	10.35	11.81	1.55	0.1671
pH	6.03 a	5.88 b	5.95 ab	5.95 ab	0.08	0.0327
Prot. Microb, g/d	776	753	445	605	187	0.5348
Ácido acético	67.6	68.68	64.51	65.35	2.278	0.3223
Ácido propiônico	26.08	28.91	26.13	26.52	3.432	0.3184
Ácido butírico	7.14	6.67	6	6.55	0.363	0.1048
Ácido isobutírico	1.68 a	1.59 ab	1.36 b	1.61 a	0.133	0.0039
Ácido isovalérico	2.69	2.4	2.36	2.55	0.156	0.2249
Ácido valérico	2.11 a	2.03 ab	1.74 b	1.96 ab	0.036	0.0494
AGV total, µmol/mL	108.98	110.31	102.09	104.95	6.961	0.0975
µmol/100 µmol						
Ácido acético,	63.64	61.97	63.37	62.14	2.267	0.3444
Ácido propiônico	26.08	28.91	26.13	26.52	3.442	0.3184
Ácido isobutírico	7.14	6.67	6.55	6.56	0.369	0.1048
Ácido butírico	1.68 a	1.59 ab	1.34 b	1.61 a	0.117	0.0039
Ácido isovalérico	2.49	2.15	2.34	2.46	0.149	0.1287
Ácido valérico	1.96	1.86	1.72	1.87	0.759	0.3940

[1] Monensina sódica 10% (Elanco - Rumensin®); [2] Produto comercial (Oligobasics - ESSENTIAL®), contendo óleos de rícino (ácido ricinoleico é o ácido graxo ativo) e óleo de caju (cardol e cardanol); [3] Valores seguidos das letras a,b e c diferem entre si com valor de P<0,05 e valores seguidos das letras x, y e z diferem entre si com valor de P<0,1; [4] Atividades que não alimentação e ruminação, como ócio e interações sociais.

Silva (2014), ao avaliar a transição abrupta para dieta de alto grão (0 para 92 % de concentrado) para novilhos Nelore recebendo monensina, monensina+virginiamicina, OF (Essential®) ou dieta controle, não observou diferença entre os tratamentos para CMS, porcentagem de amido fecal e pH fecal durante os primeiros 21 dias. Isto pode ser um indicativo de que o patamar de consumo não foi suficiente para alterar o pH de fezes, como evidenciado por Ledoux et al. (1985) que concluíram que em consumo de MS de 1,7% do peso corporal, a ingestão de amido de milho não é alta o bastante para diminuir o pH fecal. Tal fato pode ainda ser relacionado à questão de estabilidade fisiológica do sistema digestório, sendo que os aditivos teriam sido equivalentes para manter o equilíbrio funcional do trato digestório.

O menor valor de pH ruminal com a inclusão de monensina sódica na dieta no presente estudo não é condizente com os resultados de Nagaraja et al. (1982),

indicando redução de lactato no rúmen com o uso desse ionóforo e com conceito geral de efeito protetor desse ionóforo contra acidose (RICHARDSON et al., 1976).

A suplementação com OF não contribuiu para a manutenção do pH ruminal acima dos valores obtidos na dieta controle, sem o uso de aditivos.

A produção de proteína microbiana foi estimada com base na análise de derivados de purina e não houve diferença entre os tratamentos (P > 0,10) e foi de 776, 753, 445 e 604 gramas por dia, respectivamente para tratamento controle, monensina, OF e monensina + OF. O erro padrão da média foi muito alto (187 g) indicando grande variação entre os dados.

As frequências cardíacas (FC) obtidas durante as mensuração de oxigênio foram similares à média da estimativa diária durante o período de adaptação, o que sugere que os animais não estavam em condição de estresse durante o procedimento de mensuração de oxigênio (Tabela 8). De acordo com Brosh (2007), com batimentos cardíacos até 20 % acima do apresentado nas condições de normalidade (conforto), pode-se considerar constante o pulso de oxigênio.

Os animais que receberam OF apresentaram maior (p<0,1) FC e O_2Pulse que o grupo controle, com 117,2 ± 19,9 × 72,6 ± 19,8 bat/min e 136,2 ± 17,6 × 172,5 ± 14,3 $\mu lO_2/PC^{0,75}$/bat, respectivamente. Brosh et al. (1998), avaliando 6 novilhas Hereford com peso de 345 ± 10,8 kg, encontraram média semelhante ao observado no presente trabalho (94 bat/min e 238 $\mu lO_2/PC^{0,75}$/bat), nos animais alimentados com 80% de concentrado e 20% de sorgo. Brosh (2007), avaliando vacas com batimentos na faixa de 61 a 88 bat./dia, observou valores médios de volume de oxigênio da ordem de 20 a 30 mL/min/kg$PC^{0,75}$, um pouco acima do observado neste trabalho.

A metodologia para mensuração do consumo de oxigênio utilizada neste experimento foi a mesma aplicada por Chaves (2013), que obteve valor médio de produção de calor de 13,4 ± 3,06 Mcal/dia. Os animais deste experimento apresentaram valores para produção de calor menores (Tabela 8) que os encontrados por Chaves (2013). No entanto, os valores para frequência cardíaca foram similares aos obtidos por Chaves (2013) (89,4 ± 8,3 bat./min) e um pouco acima dos observados por Brosh et al. (2002) (44,9 ± 1,81 bat./min). Porém, variações entre experimentos são documentadas na literatura (LANCASTER et al.,

2005; PADDOCK, 2010; HAFLA, 2012). Além disso, a categoria animal, sexo, raça, condições fisiológicas e características ambientais podem imprimir diferenças no metabolismo, FC e consumo de energia metabolizável dos animais estudados (BROSH et al., 2002, 2004). Todavia, os fatores relacionados às diferenças de FC não estão elucidados. Porém, estas variações podem estar relacionadas à maior exigência de mantença ou à maior resposta ao estresse que os animais energeticamente ineficientes podem apresentar. O cortisol sanguíneo é negativamente relacionado com o temperamento dos animais, sendo altamente influenciado pelo estresse, o que pode contribuir para variação entre animais (GOMES et al., 2013). De acordo com Brosh et al. (2002), maior PCa pode ser observada em animais que apresentem maior FC, sendo que a PCa e FC aumentaram em animais que consumiram maior energia metabolizável.

Tabela 8 - Características sanguíneas, consumo de oxigênio, produção de calor e produção de metano de novilhos Nelore alimentados com dietas ricas em coprodutos com uso de óleos funcionais, monensina sódica ou sua combinação

	Controle	Monensina[1] 25 ppm	OF[2] 300 ppm	Mon+OF 25+300 ppm	*P*[3] *value*
Hemoglobina	11,5 ± 1,4	10,6 ± 1,4	13,0 ± 1,4	11,7 ± 1,4	0,1095
Hematócrito	33,2 ± 6,9	31,6 ± 6,6	34,7 ± 6,5	33,2 ± 6,5	0,7681
Freq. Cardíaca	72,6 ±19,8 y	103,2 ±17,6 xy	117,2 ± 19,9 x	91,7 ± 20,0 xy	0,0603
Consumo de O_2					
Calibração (L)	16,0 ± 3,0	16,8 ± 2,8	14,0 ± 2,9	16,4 ± 2,8	0,5567
Pulse[4]	172,5 ±14,3 x	132,7 ± 10,1 xy	106,9 ± 14,3 y	136,2 ± 17,6 xy	0,055
mL/bat	14,8 ±1,4 x	12,01,0 ± xy	9,4 ± 1,4 y	10,2 ± 1,4 xy	0,0776
L/dia	1844 ± 230	1486 ± 163	1214 ± 230	1232 ± 230	0,2362
ml/min. kg^{0,75}	11,9 ± 1,8	12,1 ± 1,7	10,8 ± 1,7	11,6 ± 1,7	0,3389
Prod. Calor (Mcal/dia)	9,02 ± 1,13	7,27 ± 0,80	5,94 ± 1,13	6,02 ± 1,13	0,2362
Metano (KJ/dia)	15612 ± 2496	15115 ± 1765	9102 ± 3530	13804 ± 2496	0,5033
Metano (Kcal/dia)	3730 ± 596	3611 ± 422	2174 ± 843	3298 ± 596	0,5033
Metano (Mcal/dia)	3,73 ± 0,68	3,29 ± 0,43	2,18 ± 0,97	3,30 ± 0,69	0,6509

1 Monensina sódica 10% (Elanco - Rumensin®); 2 Produto comercial (Oligobasics - ESSENTIAL®), contendo óleos de rícino (ácido ricinoleico é o ácido graxo ativo) e óleo de caju (cardol e cardanol); 3 Valores seguidos das letras a,b e c diferem entre si com valor de P<0,05 e valores seguidos das letras x, y e z diferem entre si com valor de P<0,1; 4 Consumo de oxigênio em (O2Pulse), em µlO2/PV0,75/batimento cardíaco.

Em animais eficientes ocorre menor produção de calor em relação aos ineficientes (BASARAB et al., 2003; ALMEIDA, 2005; NKRUMAH et al., 2006; NASCIMENTO, 2011; SOUZA, 2012; CHAVES, 2013). Nkrumah et al. (2006) encontraram que a produção de calor foi 21% menor para animais eficientes, quando comparados a animais energeticamente ineficientes, mostrando que o

menor gasto energético com produção de calor é um dos fatores que pode explicar a melhor eficiência dos animais em estudos com a comparação de consumo alimentar residual por exemplo. De acordo com Chaves (2013), a produção de calor representa um substancial componente do gasto energético em ruminantes, afetando o balanço energético. A fração da energia perdida como calor geralmente representa em torno de 70% da energia de mantença de bovinos em crescimento. Com isso, menor produção de calor nos animais eficientes está relacionada diretamente com menor exigência de mantença e isso pode ser consequência de muitos mecanismos biológicos, como baixa produção de metano durante a digestão (NKRUMAH et al., 2006), baixa atividade física (LUITING; URFF; VESTERGEN, 1994; BAREA et al., 2010) e menor resposta ao estresse (KNOTT et al., 2008, 2010).

O consumo de O_2 em mL/bat foi menor (P<0,1) para os animais recebendo OF. No entanto, a FC foi maior para os animais do tratamento com OF. O comportamento desta duas variáveis resultou em uma compensação no volume de O_2 em litros circulado em 24 h. Tal medida pode estar relacionada ao fato de não terem sido detectadas diferenças para a PCa entre os tratamentos. Toda via, os tratamentos que receberam OF apresentaram valores absolutos menores para a produção de calor. A menor PCa dentre indivíduos contemporâneos submetidos à uma mesma condição ambiente pode ser um indicativo de maior eficiência no metabolismo energético (BROSH et al., 2002).

Como o *O_2Pulse* é dependente do O_2 bombeado a cada batimento cardíaco, esta variável apresentou o mesmo comportamento. Os animais consumindo dietas com uso de OF apresentaram o *O_2Pulse* 38% menor (P<0,1) que os animais na dieta controle. Paddock (2010), avaliando novilhas observou que os animais menos eficientes apresentaram maior *O_2Pulse* e consumo de oxigênio em relação aos animais eficientes. O *O_2Pulse* pode mudar durante o dia se os animais estiverem em intensa atividade física ou estresse, sendo esta uma característica individual do animal (BROSH et al., 1998, 2004). Neste experimento, não foram observadas atividades físicas intensas ou estresse por parte dos animais, já que eles permaneceram alojados em baias individuas durante todo o experimento. Então, pode-se considerar que o uso de um valor constante de *O_2Pulse*, para o cálculo da produção de calor, pode representar adequadamente a produção de calor diária.

Não houve diferença entre os tratamentos para produção de calor avaliada por esta metodologia (Tabela 8). Paddock (2010) também utilizando a metodologia do *O_2Pulse* observou que a PCa foi 17,4% maior em animais de baixa eficiência energética comparado com os animais eficientes. Entretanto, Aharoni et al. (2003) observaram em vacas em lactação que a produção de calor não aumentou proporcionalmente com o aumento da FC.

Chaves (2013) observou que animais eficientes apresentaram menor porcentagem no hematócrito e menor concentração de hemoglobina. Neste estudo não foram verificadas diferenças para estas variáveis. Uma possível inferência seria que os animais mais eficientes possuem menor volume globular ou hematócrito e menor concentração de hemoglobina no sangue (CHAVES, 2013). Do mesmo modo, Richardson et al. (1996), avaliando constituintes sanguíneos em novilhas e touros Angus classificados em alta e baixa eficiência alimentar, observaram que os animais mais eficientes possuem maior quantidade de células vermelhas sanguíneas. Por outro lado, a proporção de hemoglobina e hematócrito encontradas nas células vermelhas foram menores em relação aos animais ineficientes. Richardson et al. (2001) também observaram menor concentração de hemoglobina (11,7 ± 0,15 vs 12,3 ± 0,13; P<0,01) e hematócrito (31,4 ± 0,50 vs 33,3 ± 0,42; P<0,01) em touros Angus energeticamente mais eficientes.

Com isso, a menor taxa de hematócrito nos animais mais eficientes pode sugerir que eles possuem maior número de células vermelhas e menor número de outras células, ou seja, células brancas, em relação aos animais ineficientes. Estas diferenças podem estar associadas com a capacidade de transporte de oxigênio (CHAVES, 2013).

Diferenças em gasto energético associados com crescimento de órgãos e vísceras, como fígado, trato gastrointestinal e coração, também podem contribuir em diferenças no CAR, dado que as atividades metabólicas desses tecidos consomem cerca de 50% da energia destinada para mantença, enquanto os tecidos da carcaça 23% (CARTENS; KERLEY, 2009). Assim, a menor ingestão de alimentos nos animais eficientes pode estar relacionada ao menor *turnover* proteico dos tecidos viscerais. Além da contribuição do *turnover* proteico para as variações na eficiência, estas também podem estar relacionadas ao peso e atividade metabólica dos órgãos viscerais (FERREL; JENKINS, 1984).

Chaves (2013) menciona que variações na eficiência alimentar dos animais poderia ser explicado pela redução da deposição de gordura interna, visto que o consumo de energia para deposição de gordura é um processo menos eficiente que para deposição de proteína (LOFGREEN; GARRETT, 1968). Além disso, esse efeito pode ser atribuído ao maior consumo de matéria seca e energia pelos animais ineficientes, e o consumo alimentar além das exigências pode levar ao aumento na deposição de gordura interna. De acordo com Gomes et al. (2012), animais eficientes apresentaram menor quantidade de gordura no trato gastrointestinal menor quantidade de gordura pélvica e inguinal. A gordura interna pode ser um importante componente na variação da eficiência em novilhos Nelore e que como a indústria não paga diretamente por esses componentes de carcaça, a redução da conversão alimentar para gordura visceral pode ser desejada (GOMES et al., 2012). Ainda de acordo com Chaves (2013), é importante ressaltar que a gordura visceral pode ser bastante importante para a manutenção reprodutiva de vacas em sistemas de produção a pasto, cuja sazonalidade de produção forrageira pode limitar o aporte de nutrientes para os animais. Assim, faz-se necessário conhecer até que ponto a seleção para eficiência energéticapode ou não afetar a reprodução de matrizes. Segundo Ferrell e Jenkins (1984), existem variações na mantença que estão mais associadas com peso e atividade metabólica dos órgãos viscerais, como intestino e fígado, do que com proteína e gordura corporal ou composição do ganho.

4.3.3 Ensaio de Produção de Gás "*in vitro*"

Na Figura 1 são apresentadas as curvas para acúmulo bruto de gás durante o período total de incubação, antes do ajuste do modelo.

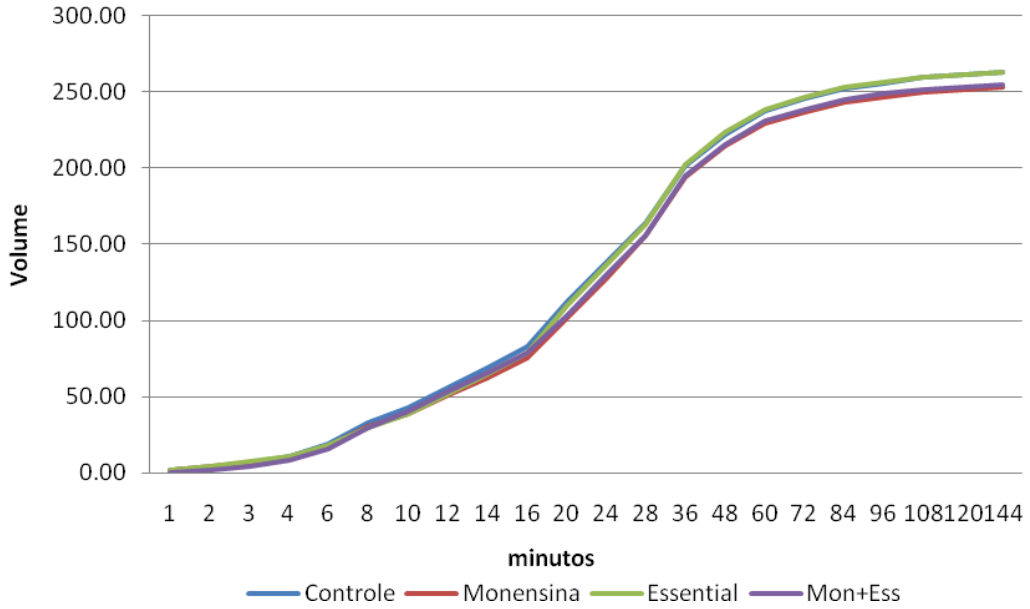

Figura 1 - Produção bruta de gás, em mL, acumulada durante 144 horas para as dietas a base de coprodutos

Para a determinação da produção de gás assintótica e tempo de colonização pelos microrganismos ruminais (*lag time*) foi utilizado do modelo de France et al. (1993). Na Tabela 9 são apresentados os valores de produção assintótica e *lag time* obtidos com uso de monensina sódica, OF ou a combinação de ambos nas dietas ricas em coprodutos.

Tabela 9 - Cinética da produção cumulativa de gás para dietas a base de coprodutos

	Controle	Monensina[1] 25 ppm	OF[2] 300 ppm	Mon+OF 25+300 ppm	EPM	*P*[3] *value*
Produção assintótica, mL	224.13	215.63	223.5	217.97	3.384	0.2644
Lag time, h	2.70	3.10	3.06	3.30	0.246	0.4184

1 Monensina sódica 10% (Elanco - Rumensin®); 2 Produto comercial (Oligobasics - ESSENTIAL®), contendo óleos de rícino (ácido ricinoleico é o ácido graxo ativo) e óleo de caju (cardol e cardanol); 3 Valores seguidos das letras a,b e c diferem entre si com valor de P<0,05 e valores seguidos das letras x, y e z diferem entre si com valor de P<0,1.

O volume final de gás não foi afetado pelos diferentes aditivos utilizados na dieta base rica em coprodutos, evidenciando que não houve vantagem específica decorrente do uso de um determinado aditivo para a degradação da dieta. Da mesma forma, o *lag time* não sofreu ação dos aditivos testados, reiterando a equivalência entre os aditivos alternativos quanto aos critérios avaliados.

4.4 Conclusões

A suplementação com OF melhora o desempenho de bovinos na fase inicial do confinamento em relação ao não uso de aditivos ou ao uso de monensina sódica, porém essa vantagem não se mantêm ao longo do período total de confinamento.

Ao contrário do esperado, no presente estudo os aditivos testados não contribuíram para o aumento da eficiência de produção de bovinos em confinamento e para a redução do seu impacto ambiental.

Referências

AHARONI, Y.; BROSH, A.; KOURILOV, P.; ARIELI, A. The variability of the ratio of oxygen consumption to heart rate in cattle and sheep at different hours of the day and under different heat load conditions. **Livestock Production**, Amsterdam, v. 79, p. 107-117, 2003.

ALMEIDA, R. **Consumo e eficiência alimentar de bovinos em crescimento**. 2005. 181 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

AMORATI, R.; PEDULLI, G.F.; VALGIMIGLI, L.; ATTANASI, O.A.; FILIPPONE, P.; FIORUCCI, C.; SALADINO, R. Absolute rate constants for the reaction of peroxyl radicals with cardanol derivatives. **Journal of Chemistry Society**, Perkin Trans. v. 2, p. 2142-2146, 2001.ASSOCIATON OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis.** 14th ed. Arlington, 1984. 1141 p.

_____. **Official methods of analysis**. 12nd. ed. Washington, 1990. 318 p.

BAREA, R.; DUBOIS, S.; GILBERT, H.; SELLIER, P.; VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. Energy utilization in pigs selected for high and low residual feed intake. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 88, p. 2062-2072, 2010.

BASARAB, J.A.; PRICE, M.A.; AALHUS, J.L.; OKINE, E.K.; SNELLING, W.M.; LYLE, K.L. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 83, p. 189-204, 2003.

BEAUCHEMIN, K.A.; McGINN, S.M. Methane emissions from beef cattle: effects of fumaric acid, essential oil, and canola oil. **Journal of Anima Science**, Alabany, v. 84, p. 1489–1496, 2006.

BENCHAAR, C.; DUYNISVELD, J.L.; CHARMLEY, E. Effects of monensin and increasing dose levels of a mixture of essential oil compounds on intake, digestion and growth performance of beef cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, Alberta, v. 86, p. 91–96, 2006.

BENCHAAR, C.; CALSAMIGLIA, S.; CHAVES, A.V.; FRASER, G. R.; COLOMBATTO, D.; McALLISTER, T.A.; BEAUCHEMIN, K.A. A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. **Animal Feed Science and Technology**, Toronto, v. 145, p. 209-228, 2008.BERGEN, W.G.; BATES, D.B. Ionophores: their effect on production efficiency and mode of action. **Jounal of Animal Science**, Albany, v. 58, p. 1465-1483, 1984.

BEVANS, D.W.; BEAUCHEMIN, K.A.; SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K.S.; McKINNON, J.J.; McALLISTER, T.A. Effect of rapid or gradual grain adaptation on subacute acidosis and feed intake by feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Cincinnati, v. 83, p. 116- 1132, 2005.

BLOOD, D.C.; HENDERSON, J.A.; RADOSTITS, O.M. Doenças dotrato alimentar. In: _____. **Clínica veterinária**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1979. p. 95-149.

BOX, G.E.P.; COX, D.R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Society**, Pennsylvania, v. 26, p. 211-252, 1964.

BRITTON, R.R.; STOCK, R.A. Acidosis, rate of starch digestion and intake, In: OKLAHOMA STATE UNIVERSITY. Agricultural Experiment Station. **Feed intake by beef cattle**. Stillwater, 1987. p. 125-137. (MP, 121).

BRODERICK, G.A.; REYNAL, S.M. Effect of source of rumen-degraded protein on production and ruminal metabolism in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, p. 2822-2834, 2009.

BROSH, A. Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: a review. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 85, p. 1213-1227, 2007.BROSH, A.; AHARONI, Y.; HOLZER, Z. Energy expenditure estimation from heart rate: validation by long-term energy balance measurement in cows. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 77, p. 287–299, 2002.

BROSH, A.; AHARONI, Y.; DEGEN, A.; WRIGHT, D.; YOUNG, B.A. Estimation of energy expenditure from heart rate measurements in cattle maintained under different conditions. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 76, p. 3054–3064, 1998.

BROSH, A.; AHARONI, Y.; SHARGAL, E.; SHARIR, B.; GUTMAN, M.; CHOSHNIAK, I. Energy balance of grazing beef cattle in Mediterranean pasture, the effects of stocking rate and season. 2. Energy expenditure as estimated from heart rate and oxygen consumption, and energy balance. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 90, p. 101–115, 2004.

BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods: a review. **International Journal of Food Microbiology,** Washington, v. 94, p. 223–253, 2004.

CARROLL, J.A.; FORSBERG. N.E. Influence of stress and nutrition on cattle immunity. **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**. Amsterdam, v. 23, p. 105–149, 2007.

CARSTENS, G.E.; KERLEY, M.S. Biological basis for variation in energetic efficiency of beef cattle. In: ANNUAL RESEARCH SYMPOSIUM, 41., 2009. Sacramento. **Proceedings...** Sacramento: Beef Improvement Federation, 2009. p. 124-131.

CHAVES, A.S. **Relações entre eficiência alimentar e características de carcaça, qualidade de carne, batimentos cardíacos e consumo de oxigênio em bovinos**. 2013. 132 p. Tese de (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

CHAVES, A.V.; HE, M.L.; YANG, W.Z.; HRISTOV, A.N.; McALLISTER, T.A.; BENCHAAR, C. Effects of essential oils on proteolytic, deaminative and methanogenic activities of mixed ruminal bacteria. **Canadian Journal of Animal Science**, Alberta, v. 88, n. 1, p. 117-122, 2008.

CHEN, X.B.; GOMES, M.J. **Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives:** an overview of technical details. Buckburnd: Roweet Research Intitute, 1992. 21 p.

CHIZZOTTI, M.L.; VALADARES FILHO, S.C.; VALADARES, R.F.D; CHIZZOTTI, F.H.M.; TEDESCHI, L.O. Determination of creatinine excretion and evaluation of spot urine sampling in Holstein cattle. **Livestock Science,** Madison, v. 113, p. 218-225, 2008.

CONEGLIAN, S.M. **Uso de oleos essenciais de mamona e caju em dietas de bovinos**. 2009. 10p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

COOPER, R.J.; KLOPFENSTEIN, T.J.; STOCK, R.A.; MILTON, C.T.; HEROLD, D.W.; PARROTT, J.C. Effects of imposed feed intake variation on acidosis and performance of finishing sters. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 77, p. 1093-1099, 1999.

DUFFIELD, T.F.; MERRILL, J.K.; BAGG, R.N. Meta-analysis of the effects of monensin in beef cattle on feed efficiency, body weight gain, and dry matter intake. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 90, p. 4583-4592, 2012.

ERICKSON, G.E.; MILTON, C.T.; FANNING, K.C.; COOPER, R.J.; SWINGLE, R.S.; PARROTT, J.C.; KLOPFENSTEIN, T.J. Interaction between bunk management and monensin concentration on finishing performance, feeding behavior, and ruminal metabolism during an acidosis challenge with feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Alabany, v. 81, n. 11, p. 2869-2879, 2003.

FERRELL, C.L.; JENKINS, T.G. Energy utilization by mature, nonpregnant, non lactating cows of different types. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 58, p. 234–243, 1984.

FRANCE, J.; DHANOA, M.S.; THEODOROU, M.K.; LISTER, S.J.; DAVIES, D.R.; ISAC, D.A model to interpret gas accumulation profiles associated with in vitro degradation of ruminant feeds. **Journal of Theoretical Biology**, Amsterdam, v. 163, p. 99-111, 1993.GOMES, R.C.; SAINZ, R.D.; LEME, P.R. Protein metabolism, feed

energy partitioning, behavior patterns and plasma cortisol in Nellore steers with high and low residual feed intake**. Revista Brasileira de Zootecnia,** Viçosa, v. 42, n. 1, p. 44-50, 2013.

GOMES, R.C.; SAINZ, R.D.; SILVA, S.L.; CESAR, M.C.; BONIN, M.N.; LEME, P.R. Feedlot performance, feed efficiency reran king, carcass traits, body composition, energy requirements, meat quality and calpain system activity in Nellore steers with low and high residual feed intake. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 150, p. 265–273, 2012.

GONZALEZ-RONQUILLO, M.; BALCELLS, J.; GUARDA, J.A.; VICENTE, F. Purine derivative excretion in dairy cows: endogenous excretion and the effect of exogenous nucleic acid supply. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, n. 4, p. 1286-1291, 2003.

GOODRICH, R.D.; GARRET, J.E.; GAST, D.R.; KIRICK, M.A.; LARSON, D.A.; MEISKE, J.C. Influence the monensin on the performance of cattle. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 58, p. 1484-1498, 1984.

GRAZZINI R.; HESK, D.; HEIMINGER, E.; HILDENBRANDT, G.; REDDY, C.C.; COX-FOSTER, D.; MEDFORD, J.; CRAIG, R.; MUMRNA, R.O. Biochemistry*.* **Biophysical Research Communications**, Amsterdam, v. 176, n. 2, p. 775-780, 1991.

GUNAL, M.; ISHLAK, A.; ABUGHAZALEH, A.A. Evaluating the effects of six essential oils on fermentation and biohydrogenation in in vitro rumen batch cultures. **Czech Journal of Animal Science**, Praha, v. 558, n. 6, p. 243–252, 2013.

HAFLA, A.N. **Examining mechanisms contributing to the biological variation of residual feed intake in growing heifers and bulls and in mid-gestation females**. 2012. 132 p. Dissertation (Doctor of Philosophy) – Texas A&M University, College Station, 2012.

HELANDER, I.M.; ALAKOMI, H.L.; LATVA-KALA, K.; MATTILA-SANDHOLM, T.; POL, I.; SMID, E.J.; GORRIS, L.G.M.; VON WRIGHT, A. Characterization of the action of selected essential oil components on gram-negative bacteria. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington v. 46, p. 3590–3595, 1998.

HIMEJIMA M.; KUBO, I. Antibacterial agents from the cashew *Anacardium-occidentale* (Anacardiaceae) nut shell oil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 39, n. 2, p. 418-421, 1991.

HRISTOV, A.N.; OH, J.; FIRKINS, J.L.; DIJKSTRA, J.; KEBREAB, E.; WAGHORN, G.; TRICARICO, J.M. Special topics: mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 91, n. 11, p. 5045-5069, 2013.

JEDLICKA, M.E; PUREVJAV, T.; CONOVER, A.J.; HOFFMAN, M.P.; PUSILLO, G. Effects of functional oils and monensin alone or in combination on feedlot cattle

growth and carcass composition (progress report). **Animal Industry Report**, Amsterdam, v. 655, n. 1, p. 46, 2009.

KHIAOSA-ARD, R.; ZEBELI, Q. Meta-analysis of the effects of essential oils and their bioactive compounds on rumen fermentation characteristics and feed efficiency in ruminants. **Journal of Animal Science,** Albany, v. 91, p. 1819–1830, 2013.

KNOTT, S.A. Rams with poor feed efficiency are highly responsive to an exogenous adrenocorticotropin hormone (ACTH) challenge. **Domestic Animal Endocrinology**, Auburn, v. 34, p. 261-268, 2008.

KNOTT, S.A.; CUMMINSB, L.J.; DUNSHEA, F.R.; LEURY, B.J. Feed efficiency and body composition are related to cortisol response to adrenocorticotropin hormone and insulin-induced hypoglycemia in rams. **Domestic Animal Endocrinology**, Auburn, v. 39, p. 137-146, 2010. KOHLERT, C.; VAN RENSEN, I.; MARZ, R. Bioavailability and pharmokinetics of natural volatile terpenes in animal and humans. **Planta Medica,** Oxford, v. 66, p. 495-505, 2000.

KUBO, I.; KOMATSU, S.; OCHI, M. Molluscicides from the cashew *Anacardium occidentale* and their large-scale isolation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 34, p. 970-973, 1986.

KUBO, I.; MUROI, H.; KUBO, A. Naturally occurring antiacne agents. **Journal of Natural Products**, Amsterdam, v. 57, p. 9-17, 1994.

KUBO, I.; OCHI, M.; VIEIRA, P.C.; KOMATSU, S. Antitumor agents from the cashew *Anacardium occidentale* apple juice **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 41, p. 1012-1015, 1993.

LANCASTER, P.A.; SCHILLING, B.R.; CARSTENS, G.E.; BROWN, E.G.; CRAIG, T.M.; LUNT, D.K. Correlations between residual feed intake and carcass traits in finishing steers administered anthelmintic treatments. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 83, p. 263, 2005.

LEDOUX, D.R.; WILLIAMS, J.E.; STROUD, T.E.; GARNER, G.B.; PATERSON, J.A. Influence of forage level on passage rate, digestibility and performance of cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 61, n. 6, p. 1567-1575, 1985.

LOFGREEN, G.P.; GARRETT, W.N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 27, p. 793, 1968.

LUITING, P.; URFF, E.M.; VESTERGEN, M.W.A. Between animal variations in biological efficiency as related to residual feed consumption. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Amsterdam, v. 42, p. 59–67, 1994.

MAURICIO, R.M.; MOULD, F.L.; DHANOA. M.S.; OWEN, E.; CHANNA, K.S.; THEODOROU, M.K. A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminants feedstuff evaluation. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 79, p. 321–330, 1999.

McINTOSH, F.M.; WILLIAMS, P.; LOSA, R.; WALLACE, R.J.; BEEVER, D.A.; NEWBOLD, C.J. Effects of essential oils on ruminal microorganisms and their protein metabolism. **Applied and Environmental Microbiology**, Oxford, v. 60, p. 5011–5014, 2003.

MERTENS, D.R. Regulation of forage intake. In**: _____**. **Forage quality evaluation and utilization**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. p. 450-493.

MEYER, N.F.; ERICKSON, G.E.; KLOPFENSTEIN, T.J.; GREENQUIST, M.A.; LUEBBE, M. K.; WILLIAMS, P.; ENGSTROM, M. A. Effect of essential oils, tylosin, and monensin on finishing steer performance, carcass characteristics, liver abscesses, ruminal fermentation, and digestibility. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 87, n. 7, p. 2346-2354, 2009.

MIDWOOD, A.J.; HAGGARTY, B.A.; McGAW, G.S.; ROBINSON, J.J. Methane production in ruminants: it's effect on the doubly labelled water. **American Journal of Physiology**, Bethesda, v. 257, p. 1488-1495, 1989.

MIDWOOD, A.J.; ANDREW, J.; HAGGARTY, P.A.; McGAW, G.S.; BRIAN, A. The doubly labeled water method: Errors due to deuterium exchange and sequestration inruminants. **American Journal of Physiology**, Bethesda, v. 264, p. 561-567, 1993.

MILLEN, D.D.; PACHECO, R.D.L.; ARRIGONI, M.D.B.; GALYEAN, M.L.; VASCONCELOS, J.T. A snapshot of management practices and nutritional recommendations used by feedlot nutritionists in Brazil. **Journal of Animal Science**, Algany, v. 87, n. 10, p. 3427-3439, 2009.

MUROI, H.; NIHEI, K.; TSUJIMOTO, K.; KUBO, I. Synergistic effects of anacardic acids and methicillin against methicillin resistant Staphylococcus aureus. **Bioorganic and Medicinal Chemistry**, Amasterdam v.12, p.583–587, 2004.

MYERS, W.D.; LUDDEN, P.A.; NAYIGIHUGU, V.; HESS, B.W. Technical note: a procedure for preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 82, p. 179-193, 2004.

NAGARAJA, T.G.; LECHTENBERG, K.F. Acidosis in feedlot cattle. **The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice,** Philadelphia, v. 23, p. 333–350, 2007.

NAGARAJA, T.G.; MILLER, G.W. Ruminal microbial changes in ionophore antibiotic-treated steers with experimentally induced acidosis. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Seul, v. 2, n. 3, p. 465-468, 1989.

NAGARAJA, T.G.; AVERY, T.B.; BARTLEY, E.E.; ROOF, S.K.; DAYTON, A.D. Effect of lasalocid, monensin or thiopeptin on lactic acidosis in cattle. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 54, p. 649-658, 1982.

NASCIMENTO, M.L. **Eficiência alimentar e suas associações com lucro, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos Nelore**. 2011. 118 p.

Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle.** 7th ed. Washington: National Academic Press, 1996. 242 p.

NICOL, A.M.; YOUNG, B.A. Short-term thermal and metabolic responses of sheep to ruminal cooling: effects of level of cooling and physiological state. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 70, p. 833-843, 1990.

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 behaviour with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 84, p. 145–153, 2006.

NUÑEZ, A.J.C.; CAETANO, M.; BERNDT, A.; DEMARCHI, J. J.A.A., LEME, P.R.; LANNA, D.P.D. Combined use of ionophore and virginiamycin for finishing nellore steers fed high concentrate diets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 4, p. 229-236, 2013.

OLIVEIRA, C.A.; MILLEN, D.D. Levantamento sobre as recomendações nutricionais e práticas de manejo adotadas por nutricionistas de bovinos confinados no Brasil: Informações gerais e adaptação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 7, p. 3, 2011.

OWENS, F.N.; SODERLUND, S. Ruminal and postrumial starch digestion by cattle. In: PIONEER HI-BRED, A DUPONT BUSINESS CONFERENCE, 2007, Jonston. **Proceedings…** Jonston: Du Pont, 2007. p. 116-128.

OWENS, F.N.; ZINN, R.A.; KIM, Y.K. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. **Journal of Animal Science,** Albany, v. 63, p. 1634-1648, 1986.

OWENS, F.N.; SECRIST D.S; HILL W.J.; GILL D.R. Acidosis in cattle: a review. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 76, p. 275-286, 1998.

PADDOCK, Z.D. **Energy expenditure in growing heifers with divergent residual feed intake phenotypes:** effects and interactions of metaphylactic treatment and temperament on receiving steers. 2010. 62 p. Thesis (Master of Science) – Texas A & M University, College Station, 2010.

PATRA, A.K. Effects of essential oils on rumen fermentation, microbial ecology and ruminant production. **Asian Journal of Animal and Veterinary Advances**, New York, v. 6, p. 416–428, 2011.

RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M.; ODDY, V.H.; THOMSPON, J.M.; ARCHER, J.A.; ARTHUR, P.F. Body composition and implications for heat production of Angus steer progeny of parents selected for and against residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture,** Melbourne, v. 41, p. 1065–1072, 2001.

RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M.; ARTHUR, P.F.; WRIGHT, J.; XU, G.; DIBLEY, K.; ODDY, V.H. Possible physiological indicators for net feed conversion efficiency in beef cattle. **Australian Society of Animal Production**, Wagg, v. 21, p. 103-106, 1996.

RICHARDSON, L.F.; RAUN, A.P.; POTTER, E.L.; COOLEY, C.O.; RATHMACHER, R.P. Effect of monensin on rumen fermentation in vitro and in vivo. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 43, p. 657-664, 1976.

ROSS, Z.M.; O'GARA, E.A.; HILL, D.J.; SLEIGHTHOLME, H.V.; MASLIN, D.J. Antimicrobial properties of garlic oil against human enteric bacteria: evaluation of methodologies and comparisons with garlic oil sulfides and garlic powder. **Applied and Environmental Microbiology**, Oxford, v. 67, p. 475–480, 2001.

SHOBHA, S.V.; RAMADOSS, C.S.; RAVINDRANATH, B. Inhibition of soybean lipoxygenase-1 by anacardic acids cardols and cardanols. **Journal of Natural Products**, Washington, v. 57, p. 1755-1757, 1994.

SILVA, A.P.S. **Efeito da monensina, da virginiamicina e dos óleos funcionais de mamona e caju em bovinos Nelore submetidos a mudança abrupta para dietas com elevado teor de concentrado**. 2014. 103p. Tese (Doutorado na área de) - Universidade de São Paulo, 2014.

SOUZA, A.R.D.L. **Relações entre eficiência alimentar, características de carcaça e qualidade de carne de Novilhos Nelore confinados**. 2012. 86 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

STOCK, R.A.; LAUDERT, S.B.; STROUP, W.W.; LARSON, E.M.; PARROTT, J.C.; BRITTON, R.A. Effects of monensin and monensin and tylosin combinations on feed intake variation of feedlot steers. **Journal of Animal Science,** Albany, v. 73, p. 39–44, 1995.

SWANSON, J.C.; MORROW-TESCH, J. Cattle transport: historical, research, and future perspectives. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 79, p. E102–E109, 2001.

SWEENEY, R.A. Generic combustion method for determination of crude protein in feeds. **Journal of Official Analytical Chemists**, San Diego, v. 72, p. 770-774, 1989.

TAGER, L.R.; KRAUSE, K.M. Effects of essential oils on rumen fermentation, milk production, and feeding behavior in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, New Orleans, v.94, p.2455-2464, 2011.

TAYLOR, C.R.; HEGLUND, N.C.; MALOIY, G.M.O. Energetics and mechanics of terrestrial locomotion as a function of speed and body size in birds and mammals. **Journal Experimental Biology,** London, v. 97, p. 1-21, 1982.

TREVISAN, M.T.S.; PFUNDSTEIN, B.; HAUBNER, R.; WÜRTELE, G.; SPIEGELHALDER, B.; BARTSCH, H.; OWEN, R.W. Characterization of alkyl phenols in cashew (*Anacardium occidentale*) products and assay of their antioxidant

capacity. **Food and Chemical Toxicology**, Amsterdam, v. 44, n. 2, p. 188-197, 2006.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 74, n.10, p.3583-3597, 1991.

VEGA, A.; POPPI, D.P. Extent of digestion and rumen condition as factors affecting passage of liquid and digesta particles in sheep. **Journal of Agricultural Science,** Cambridge, v. 128, p. 207–215, 1997.

VIEIRA, C.; FETZER, S.; SAUER, S.K.; EVANGELISTA, S.E.; AVERBECK, B.; KRESS, M.; REEH, P.W.; CIRILLO, R.; LIPPI, A.; MAGGI, C.A.; MANZINI, S. Pro- and anti-inflammatory actions of ricinoleic acid:similarities and differences with capsaicin. Naunyn-Schmiedeberg's. **Archives of Pharmacolology**, Secaucus, v. 364, p. 87–95, 2001.

WEISS, W.P.; CONRAD, H.R.; PIERRE, R.S. A theoretically-base model for predicting total digestible nutrient values of a forages and concentrates. **Animal Feef Science**, Amsterdam, v. 39, p. 95-119, 1992.

ZAWADZKI, F.; FUGITA, C.A.; SILVA, L.G.; SESTARI, B.B.; TORECILHAS, J.A.; PEROTTO, D.; OLIVEIRA, M.G.; MICHELLON, G.; ORNAGHI, M.G.; PRADO, I.N. Glicerol e óleos essenciais na dieta de bovinos não castrados precoces Purunã terminados em confinamento sobre o desempenho e ingestão de alimentos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 47., 2010, Salvador. **Anais...** Salvador: SBZ, 2010. 1 CD-ROM.

ZINN, A.; SHEN, Y. An evaluation of ruminal degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. **Journal of Animal Science,** Albany, v. 76, n. 5, p. 1280-1289, 1998.

ZINN, R.A.; OWENS, F.N. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal protein synthesis. **Canadian Journal of Animal Science,** Ottawa, v. 66, p. 157-166, 1986.

ZOTTI, C.A.; SILVA, S.L.; MARTELLO, L. S.; MEIRELLES, R. L; SILVA, A. P.S.; ALVAREZ, P.L; CANCIAN, P. H.; IANNI, A. C.; ZANONI, L. E.; LEME, P. R. Effects of different feed additives on performance and carcass traits of feedlot cattle. **Journal of Animal Science,** Albany, v. 90, suppl. 3, p. 627, 2012.

5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A busca por ferramentas que melhorem a eficiência alimentar de animais de produção é uma constante dentro dos sistemas produtivos. Neste cenário, é crescente o interesse quanto ao uso alternativas que propiciem a melhoria dos índices de eficiência alimentar na bovinocultura. Existem ainda muitas interações a serem exploradas no ambiente acadêmico em relação ao uso de óleos funcionais e seu potencial dentro da produção animal. As diversas inter-relações que se observam em função de diferentes substratos, doses e combinações e seus efeitos no metabolismo e desempenho animal demandam estudos direcionados, a fim de compreender de forma mais abrangente o uso de compostos secundários bioativos de plantas como aditivos na nutrição animal e explorar seus benefícios.

A relevância de incrementos na produtividade, mediante a melhoria da eficiência produtiva se potencializa à medida em que a produção de poluentes ambientais como o esterco e gases de efeito estufa são reduzidos, tendo-se em vista um mercado consumidor cada vez mais focado na produção animal de forma sustentável tanto do ponto de vista econômico, quanto em relação ao uso consciente de recursos naturais e cuidados com os animais e ambiente.

Além da importância da eficiência alimentar na produção de bovinos de corte, o custo energético de mantença, perdido na forma de calor, pode representar 70-75% do consumo total de energia (FERRELL; JENKINS, 1984; NRC, 1984), sendo componente chave no estabelecimento de alternativas interessantes a cadeia produtiva. Embora a produção de calor de um animal possa ser medida de forma acurada por meio de câmara calorimétrica ou uso de água duplamente marcada, estes métodos, além de serem praticados em condições artificiais, são extremamente caros e requerem considerável experiência e infraestrutura, o que pode tornar impraticável a seleção de animais mais eficientes com o uso destas tecnologias no âmbito comercial. Uma vez que a maior parte do O_2 utilizado por animais homeotermos é transportada aos tecidos pela ação do coração, órgão este cuja atividade representa cerca de 10% da produção total de calor. O uso da frequência cardíaca e consumo de oxigênio é altamente correlacionada com a mensuração direta da produção de calor na câmara calorimétrica ($r = 0,943$) (CEESAY et al., 1989). Assim, a frequência cardíaca calibrada para consumo de

oxigênio pode ser utilizada na identificação de animais com menor produção de calor, e consequentemente mais eficientes quanto à utilização do alimento (BROSH, 2007).

Os resultados obtidos neste trabalho, juntamente com as informações disponíveis na literatura sugerem que adição de óleo de caju e mamona pode apresentar resultados vantajosos ao produtor em função da tendência para aumento do peso de carcaça quente. Mais trabalhos devem ser realizados neste sentido, a fim de verificar a consistência dos resultados já apresentados com o uso do óleo funcional utilizado neste estudo.

Considerando que os animais neste trabalho eram homogêneos, e sua distribuição nos tratamentos obedeceu os preceitos estatísticos para a condução de um experimento, o maior consumo de MS apresentado pelos animais recebendo OF na dieta pode causar positivo impacto na rentabilidade. Uma vez que não houve diferença na eficiência alimentar entre os animais, aqueles com maior consumo de MS podem expressar melhor potencial de ganho por animal, incrementando a produtividade do confinamento com um mesmo número de cabeças confinadas. Indivíduos com maior consumo de matéria seca provavelmente apresentam maior ganho de peso, já que o consumo é resposta da demanda de energia para mantença e crescimento (NASCIMENTO, 2011). Assim, esses indivíduos com maior consumo e, consequentemente, maior ganho podem ser mais lucrativos, pois o ganho de peso é determinante do grau de acabamento e tempo de confinamento.

Referências

BROSH, A. Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: a review. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 85, p. 1213-1227, 2007.

CEESAY, S.M.; PRENTICE, A.M.; DAY, K.C.; MURGATROYD, P.R.; GOLDBERG, G.R.; SCOTT, W.; SPURR, G.B. The use of heart rate monitoring in the estimation of energy expenditure: a validation study. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 61, p. 175–186, 1989.

FERRELL, C.L.; JENKINS, T.G. Energy utilization by mature, non pregnant, non lactating cows of different types. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 58, p. 234–243, 1984.

NASCIMENTO, M.L. **Eficiência alimentar e suas associações com lucro, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos Nelore**. 2011. 118 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle.** 6th ed. Washington: National Academic Press, 1984. 157 p.