

## O estado da arte da nutrição de ruminantes

Graciele Araújo de Oliveira Caetano<sup>1</sup> & Messias Batista Caetano Júnior<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doutoranda em Zootecnia, Universidade Federal de Goiás, Brasil.

<sup>2</sup>Zootecnista, Especialista em gestão de projetos; Centro Federal de Educação Tecnológica de Bambuí, Brasil.

\*Autor para correspondência, E-mail: [gracielecaetano@outlook.com](mailto:gracielecaetano@outlook.com)

**RESUMO.** Nos últimos 25 anos, pesquisas em todos os aspectos da nutrição de ruminantes foram intensificadas. Previsões apontam que em 2050 a produção mundial e o consumo de carne será quase o dobro da atual, podendo chegar a 455 milhões de toneladas por ano. Tais projeções são o resultado do crescimento da população humana, estimada em nove bilhões em 2050 e, pelo aumento do poder de compra e qualidade de vida, também aumentará a demanda por proteína animal. Pesquisas relevantes sobre eficiência alimentar, processos de digestão e absorção, o desenvolvimento de novas técnicas de avaliação de alimentos e o conhecimento aprofundado da microbiota ruminal permitem a maximização da utilização dos nutrientes pelos animais, reduzindo também a eliminação de resíduos no meio ambiente, outra área de grande preocupação atual. Em detrimento de tamanha importância, o objetivo desse texto é realizar uma breve explanação sobre o “Estado da Arte da Nutrição de Ruminantes”. Dada a vasta possibilidade de pesquisa, foram selecionados alguns temas atuais de relevância global, principalmente com aplicação em bovinos, como a utilização de beta-agonistas, utilização de óleos essenciais e/ou funcionais, e a utilização de técnicas de biologia molecular para o estudo da microbiota ruminal.

**Palavras-chave:** Beta-agonistas, óleos essenciais, óleos funcionais, microbiologia ruminal

### *The state-of-the-art of ruminant nutrition*

**ABSTRACT.** Over the last 25 years, researches in all aspects of ruminant nutrition were intensified. Forecasts indicate that in the year 2050 the world production and consumption of meat will be almost the double of the current volume, reaching 455 million tons per year. These projections are the result of human population growth, estimated at nine billion by the year 2050, and by the increasing of the purchasing power and quality of life will also increase the demand for animal protein. Relevant researches about feed efficiency, digestion and absorption processes, the development of new techniques for evaluating food and in-depth knowledge of ruminal microflora allow to the maximum use of nutrients for animals, also reducing the disposal of waste in the environment, another area of great concern. With a theme with such importance, the aim of this paper is to perform a brief explanation about the "State of Art of Ruminant Nutrition". Given the vast potential of research, we selected some current issues with global significance, especially with use in bovines, as the use of beta-agonists, use of essential /or functional oils and the use of molecular biology techniques to study the microflora rumen.

**Keywords:** Beta-agonists, essential oils, functional oils, ruminal microbiology

### *El estado del arte de la nutrición de los rumiantes*

En los últimos 25 años, las investigaciones en todos los aspectos de la nutrición de rumiantes se intensificaron. Previsiones indican que en 2050 la producción y el consumo mundial de carne será casi el doble del actual, pudiendo llegar a 455 millones de toneladas

por año. Tales proyecciones son el resultado del crecimiento de la población humana, estimada en nueve mil millones en 2050 y el aumento del poder adquisitivo y la calidad de vida también aumentará la demanda de proteínas de origen animal. Investigaciones pertinentes sobre la eficiencia alimenticia, procesos de digestión y absorción, desarrollo de nuevas técnicas para la evaluación de la alimentación y el conocimiento en profundidad de la microflora ruminal permiten la máxima utilización de nutrientes por los animales, reduciendo también la eliminación de residuos al medio ambiente, otra área de gran preocupación actual. En detrimento de tal importancia, el objetivo de este texto es realizar una breve explicación sobre el “Estado del Arte de la Nutrición de rumiantes”. Dado el enorme potencial de la investigación, se seleccionaron algunos temas actuales de importancia global, especialmente con aplicación en bovinos, como el uso de beta-agonistas, el uso aceites esenciales y/o funcionales, el uso de técnicas de biología molecular para el estudio de la microflora del rumen.

**Palabras clave:** beta-agonistas, aceites esenciales, aceites funcionales, microbiología ruminal

## Introdução

Os sistemas de produção de ruminantes evoluíram muito nas últimas décadas, o que possibilitou uma considerável melhoria da produtividade e da qualidade do produto ofertado aos consumidores. O desenvolvimento de forma conjunta e integrada de pesquisas em melhoramento genético, o controle sanitário, técnicas reprodutivas, meio ambiente e, principalmente, o avanço do conhecimento na área de nutrição, foram os principais fatores responsáveis pelo desenvolvimento da produção animal mundial (Prado, 2010).

Nos últimos 25 anos, pesquisas em todos os aspectos da nutrição de ruminantes foram intensificadas. Por exemplo, os sistemas modernos de produção intensiva de bovinos de corte e leite podem produzir hoje, um volume equivalente de carne e leite com bem menos animais, terra, água e alimentos, em comparação a 20-30 anos atrás. Pesquisas relevantes sobre eficiência alimentar, processos de digestão e absorção, o desenvolvimento de novas técnicas de avaliação de alimentos e o conhecimento aprofundado da microbiota ruminal, permitem a maximização da utilização dos nutrientes pelos animais, reduzindo também a eliminação de resíduos no meio ambiente, outra área de grande preocupação atual (Hocquette et al., 2005).

Com relação ao meio ambiente, a produção animal tem sofrido pressão considerável para demonstrar que os consumidores não estão expostos a riscos por práticas que poluam o meio ambiente e/ou que possam afetar de forma negativa a qualidade do alimento produzido. Em alguns países, já há regulamentações em vigor, ou que entrarão em vigor em breve, para garantir que

a produção animal aconteça de forma ambientalmente correta. Há muitos anos os nutricionistas vêm buscando alternativas para a manipulação ruminal, com o intuito de diminuir os problemas relacionados com a produção de ruminantes, como a poluição ambiental pela eliminação de metano, e os distúrbios metabólicos causados pela grande inclusão de concentrado nas dietas.

Apesar dos incontáveis avanços na nutrição de ruminantes, as previsões são de que a produção animal enfrentará grandes desafios nas próximas décadas. Hocquette (2016) afirma que a evolução acelerada do conhecimento científico torna ainda mais desafiadora a busca por tecnologias sustentáveis e economicamente viáveis. Nesse sentido, podemos verificar que a pesquisa científica deverá se aprimorar ainda mais para atender às demandas atuais e futuras.

Alexandratos and Bruinsma (2012) afirmam que em 2050, a produção mundial e o consumo de carne serão quase o dobro da atual, podendo chegar a 455 milhões de toneladas por ano. Tais projeções são o resultado do crescimento da população humana, estimada em 9 bilhões em 2050 e pelo aumento do poder de compra e qualidade de vida, também aumentará a demanda por proteína animal.

O Brasil ocupa posição de destaque na produção de bovinos, pois possui o maior rebanho comercial do mundo, é o maior exportador de carne bovina e o segundo maior produtor (ANUALPEC, 2015). Dados da FAPRI (2015) estimam que em 2025, com o aumento da população e de sua renda, o país irá consumir 10,8 milhões toneladas de carne, com um consumo de 50 kg/habitante/ano, com as exportações podendo

chegar a 1,8 milhões toneladas. Para que seja possível atender a essa demanda, será necessário que a produção brasileira de carne bovina aumente ao montante de 13,6 milhões de toneladas em 10 anos, sendo assim, verifica-se a necessidade de intensificar ainda mais as pesquisas no setor.

Em detrimento de tamanha importância, o objetivo desse texto é realizar uma breve explanação sobre o “Estado da Arte da Nutrição de Ruminantes”, tema sempre atual e relevante na produção animal.

### Revisão de literatura

De acordo com [Ferreira \(2002\)](#), as pesquisas definidas como “O Estado da Arte” possuem caráter bibliográfico, objetivando mapear e discutir uma determinada produção acadêmica em diferentes campos do conhecimento, tentando responder quais aspectos e dimensões vêm sendo destacados e privilegiados em diferentes épocas e lugares, de que formas e em que condições têm sido produzidas certas dissertações de mestrado, teses de doutorado, publicações em periódicos e comunicações em anais de congressos e de seminários.

O relatório da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior ([CAPES, 2012](#)), aponta que existem 48 Programas de Pós-Graduação em Ciência Animal, Produção Animal ou Zootecnia, recomendados e reconhecidos, que possuem pesquisadores trabalhando com nutrição de ruminantes. A partir desses dados, verificou-se que existiam aproximadamente 464 projetos de pesquisas na referida área no período de 2007 a 2012. Foi possível verificar que nesse período, a maior parte dos estudos nacionais são sobre a utilização de alimentos regionais alternativos ([Prado and Moreira, 2002](#)), fontes de ácidos graxos e de aditivos na alimentação de ruminantes ([Zawadzki et al., 2010](#)), eficiência alimentar e ([Rotta et al., 2010](#)) a interface nutrição-meio ambiente, principalmente no que se refere à redução da emissão de metano ([Benchaar et al., 1998](#)).

Dada à vasta possibilidade de pesquisa, para esse texto foram selecionados alguns temas atuais de relevância global, principalmente com aplicação em bovinos, como a utilização de beta-agonistas, utilização de óleos essenciais e/ou funcionais, e a utilização da biologia molecular para o estudo da microbiota ruminal.

### Beta agonistas na produção de carne bovina

A partir de levantamento bibliográfico em revistas A1 e A2, nota-se que muitas pesquisas foram e ainda estão sendo desenvolvidas sobre esse tema, reconhecidamente polêmico, nas grandes instituições de ensino no Brasil (UFV, USP, UFLA, EMBRAPA) e no exterior ([Johnson et al., 2014](#)).

Os betas agonistas (BAAs) são substâncias que ativam os receptores betas adrenérgicos e essas substâncias vem sendo utilizadas e estudadas em espécies de animais de produção. Tais estudos são realizados há aproximadamente 25 anos, com ênfase nos efeitos na produção de carcaças mais magras e musculosas ([Johnson et al., 2014](#)). Os referidos compostos sintéticos são farmacologicamente similares às catecolaminas, como a dopamina, norepinefrina (noradrenalina) e epinefrina (adrenalina), compostos reconhecidamente utilizados na medicina humana há mais de 30 anos como bronco-dilatadores.

Nos animais de produção, os BAAs estudados são o cimaterol, clenbuterol, L-644-969, a ractopamina, o salbutamol e o zilpaterol, ambos administrados pela adição algum componente da ração ([Anderson et al., 2004](#), [Caine and Mathison, 1992a](#), [Caine and Mathison, 1992b](#)).

No Brasil, até 2011 não era permitido nenhum tipo de substância com atividade anabolizante, inclusive aquelas sem caráter hormonal. Em 2011, com a Instrução Normativa 55/2011 do MAPA, surgiu a possibilidade da utilização de produtos sem caráter hormonal para bovinos de abate e foi aprovado o uso dos BAAs; porém em 2012 após muitas controvérsias, foi proibido novamente.

Os principais produtos que foram comercializados no Brasil e nos EUA possuem os princípios ativos zilpaterol (Zilmax da MSD) e a ractopamina (Optaflexx da Elanco). O funcionamento dessas substâncias ocorre pela ativação de receptores específicos da membrana das fibras musculares e dos adipócitos, modificando o metabolismo celular dos tecidos muscular e adiposo ([Montgomery et al., 2009](#)).

O BAAs são caracterizados como promotores de crescimento não hormonais utilizados na fase de terminação, que ativam receptores específicos da membrana das fibras musculares e dos adipócitos, promovendo a hipertrofia muscular, aumentando a síntese e/ou diminuindo a degradação proteica, além de reduzir a gordura por

maior lipólise e menor lipogênese ([Samadi et al., 2013](#)).

Esses promotores de crescimento não hormonais são divididos em três tipos, denominados como receptores beta-1, beta-2 e beta-3, presentes na maior parte das células de mamíferos, com variações em relação à distribuição e proporção nos tecidos e nas espécies<sup>8</sup>, o que torna alguns agonistas BAAs são mais eficientes que outros numa mesma espécie animal. Nos bovinos, a maioria dos receptores no tecido muscular e adiposo é do tipo beta-2, que segundo alguns autores, nas células adiposas são de 75% ([Mersmann, 1998](#), [Sillence and Matthews, 1994](#)) ou superior a 90%, e nas fibras musculares é aproximadamente 99% ([Van Liefde et al., 1993](#)).

A ação dos agonistas BAAs tem início com a ativação dos receptores mediada pelas proteínas G, que por sua vez ativam a enzima adenilato ciclase, que irá converter ATP (adenosina trifosfato) em AMPc (adenosina monofosfato cíclico), que é um segundo mensageiro intracelular. O AMPc, por sua vez, se liga à proteína quinase A (PKA), causando fosforilação da mesma, e a tornando ativa para suas funções catalíticas. Cabe ressaltar que o processo descrito ocorre naturalmente nos tecidos, mesmo sem a utilização dos agonistas exógenos, já que o próprio organismo produz tais substâncias; porém as células se mantêm ativadas por mais tempo quando os BAA são fornecidos aos animais, mantendo constante o metabolismo.

#### *Efeitos no desempenho animal, características de carcaça e maciez da carne*

De acordo com alguns autores, dentre os principais efeitos notados em animais suplementados com agonistas BAAs é possível destacar a melhoria da eficiência alimentar, com igual ou menor ingestão de matéria seca ([Johnson et al., 2014](#), [Vestergaard et al., 1994](#)) o aumento no ganho de peso diário, resultando em maior peso vivo após um certo período de alimentação ([Leheska et al., 2009](#), [Beckett et al., 2009](#)) e a redução da deposição gordura e marmorização da carne. Os BAAs aumentam o ganho de peso e a eficiência alimentar sem alterar a ingestão de matéria seca em animais em sistema intensivo, aumentando o ganho de peso diário, produzindo animais mais pesados, com maior rendimento de carcaça e, com maiores estimativas de rendimentos de carne magra. Todavia, a qualidade organoléptica do produto final fica a desejar, pois

diversos estudos mencionam que a carne fica menos macia e succulenta, além do prejuízo no sabor em virtude da menor quantidade de gordura intramuscular.

Existem poucas pesquisas nacionais sobre os BAAs, já que essas substâncias estão proibidas. Atualmente, as pesquisas encontradas sobre o tema estão principalmente na USP, que desenvolve temas como: Desempenho e características de carcaça de bovinos Nelore imunocastrados alimentados com zilpaterol ou ractopamina em confinamento: Características de carcaça e rendimento de cortes comerciais de bovinos Nelore confinados, imunocastrados e suplementados com beta agonistas ([Brigida](#)); Qualidade da carne de bovinos Nelore imunocastrados alimentados com beta-agonistas ([Mazon, 2016](#)) e efeitos da imunocastração e de Beta-agonistas adrenérgicos sobre o desempenho, perfil sanguíneo, comportamento ingestivo e características de carcaça de bovinos Nelores confinados ([Antonelo, 2015](#)).

Não há dúvidas quanto ao impacto econômico que o produto exerceu no mercado. Em 2012, cerca de 70% do gado americano vendido para abatedouros eram alimentados com Zilmax ou com Optaflexx, quando a MSD cancelou seu produto; nesse momento as vendas do Zilmax nos EUA e Canadá alcançaram US\$ 159 milhões. Existe uma vantagem definitiva no uso dos beta-agonistas nos confinamentos, mas cabe refletir se o benefício no maior volume de carne supera o custo da opinião pública. Diversos autores defendem que há um vasto campo de investigações nessa área, sendo necessário testar os efeitos dos betas agonistas, levando em consideração o período de administração e o tempo total de alimentação intensiva; no desempenho e nas características de carcaça e da carne de machos castrados e não castrados; da subespécie *Bos indicus* e em cruzamento com *Bos taurus*. Tais pesquisas são importantes para que sejam desenvolvidos métodos de utilização específicos para o rebanho nacional, além da necessidade de reduzir os impactos negativos quanto aos níveis de resíduos encontrados na carne, à qualidade da carne, e conseqüentemente a aceitação do mercado consumidor nacional e internacional.

#### **Óleos essenciais na nutrição de ruminantes**

Todo tipo de óleo interfere no funcionamento ruminal, para mais ou para menos dependendo do

tipo de óleo e da quantidade empregada ([Jayasena and Jo, 2013](#)). No entanto, diferente de muitas interpretações, os óleos essenciais não são gorduras, mas sim grupamento hidrocarbonetos. Sabe-se que em certos níveis, os óleos e gorduras são tóxicos para os microrganismos ruminais e por isso existem as gorduras by-pass, que por serem inertes no rúmen podem ser suplementadas em grandes quantidades.

Os ácidos graxos poliinsaturados e os de cadeia média afetam fortemente a flora ruminal, por isso dependendo do objetivo, qualquer óleo poderia ser considerado um óleo funcional no rúmen, dependendo do nível que for suplementado. Por outro lado, como os efeitos dos óleos podem ser tanto positivos como negativos, a utilização de óleos no rúmen deve ser realizados com precaução.

Os óleos essenciais recebem essa denominação como referência à essência, ou cheiro oriundo dos produtos de base. Na bibliografia, encontra-se que os efeitos dos óleos essenciais em ruminantes têm mostrado que o óleo de alho ([Tag El-Din et al., 2012](#)), o cinamaldeído (componente do óleo de canela) ([Yang et al., 2010](#)), eugenol (componente do cravo) ([Geraci et al., 2012](#)), capsaicina (componente da pimenta) ([Cichewicz and Thorpe, 1996](#)), o óleo de anis, dentre outros, podem aumentar a produção de ácido propiônico, reduzir a produção de acetato e metano e modificar a proteólise, peptidólise, ou desaminação no rúmen. Todavia, os efeitos destes óleos essenciais variam de acordo com o tipo da dieta e do pH ruminal e seu uso pode ser benéfico sob certas condições e sistemas de produção ([Tedeschi et al., 2011](#), [Rivaroli et al., 2016](#)).

Óleos essenciais são derivados de fenilpropanóides e terpenóides ([Zhang et al., 2010](#)) que podem alterar a dinâmica da degradação proteica no rúmen por meio de redução da atividade microbiana, fungos anaeróbios e metanogênese, ou ainda, afetam o padrão de colonização bacteriano dos substratos ([Bakkali et al., 2008](#)).

Apesar das inúmeras vantagens, os óleos essenciais são largamente empregados nas perfumarias e na alimentação humana e essas competições de mercado fazem com o preço desses produtos sejam altos; além disso, pesquisas apontam que podem deixar resíduos de sabor na carcaça e, que as doses efetivas e tóxicas estão, muitas vezes, próximas. Por sua vez, os óleos funcionais não deixam sabor na carcaça, não

apresentam problemas de toxicidade e também não competem com aplicações de perfumaria ou alimentação humana, mas ainda são necessárias muitas pesquisas para comprovar esses fatores.

Grande parte das pesquisas está relacionada ao ambiente ruminal e atualmente diversos estudos vêm sendo realizados no Brasil, principalmente com relação à utilização desses óleos em substituição à ionóforos ([Rivaroli et al., 2016](#), [Prado et al., 2016](#), [Silva et al., 2014](#), [Valero et al., 2016](#), [Valero et al., 2014a](#), [Valero et al., 2014b](#), [Zawadzki et al., 2015](#), [Cruz et al., 2014](#))

Na alimentação animal é importante conhecer profundamente qual produto está sendo empregado, além de seu princípio ativo, controle de qualidade e estabilidade. Sabe-se que o cardol e o ácido ricinoléico agem na parede das bactérias gram-positivas como ionóforos naturais e que misturas destes produtos tem atividade anticoccidiana ([Oliveira et al., 2011](#)), controlam o pH ruminal e melhoram a digestibilidade da fibra e possuem efeitos na características da carcaça ([Torrent, 2014](#)).

Dentre os possíveis mecanismos de ação dos óleos essenciais no organismo animal, podem-se citar modificações da microflora intestinal; aumento na digestibilidade e absorção de nutrientes, pelo estímulo da atividade enzimática; melhora da resposta imune; controle na produção de amônia; modificações morfohistológicas do trato gastrointestinal e atividade antioxidante ([Marsiglio, 2012](#)); porém esses dados são na maior parte das pesquisas em animais monogástricos.

Os óleos essenciais quanto representam uma nova geração em produtos de alteração da dinâmica ruminal ([Patra, 2011](#), [Calsamiglia et al., 2007](#)); porém existe a necessidade de investigações mais profundas da ação dos princípios ativos e seus efeitos *in vivo*, para assim confirmar quais são os ganhos expressivos no desempenho dos animais ruminantes, e para que os extratos vegetais possam ser adotados expressivamente na nutrição desses animais, com a vantagem competitiva de que, sendo naturais, podem ser usados sem as restrições que apresentam os antibióticos.

### **Biologia molecular e microbiologia ruminal na nutrição de ruminantes**

Um dos temas atuais em maior evidência, sem dúvidas, trata-se do ambiente ruminal. Temas amplamente estudados são: manipulação do ambiente ruminal para melhorar o desempenho e

saúde de bovinos de corte ([Martens et al., 2012](#)); aplicação dos estudos em fermentação ruminal na adequação de dietas para ruminantes ([van Vuuren et al., 2012](#)); aplicação dos estudos sobre o microbioma ruminal na redução de emissão de metano ([Zeitz et al., 2013](#)); *Megasphaera elsdenii* no desempenho de bovinos de corte confinados ([Aikman et al., 2011](#)); cinética de digestão e passagem da fibra em ruminantes e sua otimização por meio de estratégias nutricionais ([Tirado-González et al., 2016](#)); consórcios microbianos no rúmen para melhorar a eficiência alimentar e reduzir o impacto ambiental dos sistemas de produção animal ([Ross et al., 2013](#)); técnicas de base de ácido nucleico para utilização e manipulação do rúmen ([Ohene-Adjei et al., 2008](#)), dentre outros.

Nos ruminantes, os organismos componentes da microbiota gastrointestinal são simbioses com o animal, por sua vez denominado hospedeiro. A microbiota pré-gástrica é constituída por bactérias, protozoários ciliados e flagelados e fungos anaeróbios, além de vírus bacteriófagos. A microbiota intestinal é constituída basicamente por bactérias, bacteriófagos, e fungo. Pela vasta e complexa microbiota pré-gástrica, o rúmen ocupa posição de destaque na nutrição de ruminantes, sendo considerado o órgão de maior capacidade metabólica de adaptação. Ele desempenha uma função vital nas funções nutritiva e fisiológica, mas também, em conjunto com os intestinos, desempenha funções imunológicas e de proteção do hospedeiro. Pelas importantes funções, o rúmen é também o órgão mais estudado no que se refere à interação simbiótica entre hospedeiro e a microbiota residente no trato digestivo ([Oetting, 2005](#)).

### Avanços tecnológicos

São inúmeros os avanços nas tecnologias de estudo da microbiota ruminal e do conhecimento acerca da microbiologia gastrointestinal; dentre eles podemos citar o desenvolvimento de técnicas de cultivo de anaeróbios e sua aplicação ao estudo da microbiota ruminal, a nutrigenômica ([Gonçalves et al., 2010](#)), o uso de modelos biológicos para definir as inter-relações entre microrganismos gastrointestinais e seu hospedeiro e o desenvolvimento de técnicas de gnotobiologia, pelas quais animais sem microrganismos (germ-free) ou ainda portadores de uma microbiota definida artificialmente podem ser obtidos e mantidos nessa condição ([Arcuri et al., 2011](#), [Arcuri and Mantovani, 2006](#)).

Com o surgimento de técnicas de biologia molecular, em especial com a utilização de sondas moleculares, o estudo da ecologia dos sistemas microbianos, da imunologia e interações entre os microrganismos e o animal hospedeiro, permite o maior entendimento e, em pouco tempo, uma descrição completa de ecossistemas gastrointestinais ([Hocquette et al., 2007](#)).

Nos últimos anos, métodos de biologia molecular baseados, principalmente, na análise de sequências do gene 16S rRNA apresentaram um grande número de microrganismos não conhecidos ou ainda não cultivados. [Jesus et al. \(2015\)](#) afirmam que o número de espécies de microrganismos estimadas no rúmen, baseados em sequências de 16S rRNA podem variar de 300 – 400 com a metodologia Sanger a 12.000 com o pirosequenciador. Todavia, com o advento dessas novas técnicas, acredita-se que esse número de espécies pode ser ainda maior.

O sequenciamento do DNA em 1977 teve um impacto importante nas mais diversas áreas da ciência, e com as mais recentes técnicas moleculares como a reação em cadeia polimerase, as dificuldades e limitações encontradas nas técnicas de cultivo, principalmente dos microrganismos, foram superadas. A partir do desenvolvimento dos estudos filogenéticos dos procariontes, foi necessário eleger um cronômetro molecular ideal para realizar inferências sobre as relações evolutivas entre os diversos microrganismos. A análise dos genes ribossômicos é muito utilizada para essas inferências filogenéticas, principalmente no que refere aos procariontes, aumentando com isso o conhecimento sobre a variedade procarionte em diversos ecossistemas.

Métodos convencionais para a taxonomia baseada em técnicas de cultivo estão sendo substituídas por técnicas moleculares, pois elas apresentam maior rapidez e precisão. De acordo com [Jesus et al. \(2015\)](#), o fundamento das técnicas moleculares está na sequência do 16S rRNA que abastece a classificação filogenética utilizada na identificação e posterior quantificação da comunidade bacteriana. Para avaliar a diversidade bacteriana ruminal, os supracitados autores utilizaram três bovinos da raça Nelore, com cânulas no rúmen. As frações líquida e sólida do conteúdo ruminal passaram por processamento com o objetivo de extrair o DNA metagenômico; após a extração foi verificado a quantidade e integridade das amostras. Após isso foi realizada a

PCR baseada nas regiões hipervariáveis V1 e V2 do 16S rRNA, e em sequência procedeu-se a construção da biblioteca e sequenciamento utilizando a plataforma Illumina. Os dados foram analisados pelos softwares MG-RAST e MOTHUR para filiações bacterianas. Aproximadamente 11.407.000 reads foram geradas com qualidade e 812 e 752 UTOs foram encontrados no nível de espécie e gênero respectivamente. Foram identificados 27 filos no conteúdo ruminal de bovinos Nelore através do sequenciamento do gene 16S rRNA pela plataforma Illumina. Os conhecimentos gerados a partir do presente estudo são informações primárias e primordiais para o entendimento da composição bacteriana ruminal. Assim, nos proporciona vislumbrar um futuro promissor no desenvolvimento de novos métodos e tecnologias aplicáveis na nutrição animal, pois com a diversidade morfológica bacteriana associada às fibras vegetais, detectada por microscopia eletrônica de varredura, evidencia seu papel na desconstrução da biomassa vegetal, além da detecção de interações microbiológicas que envolvem protozoários.

O conhecimento da microbiologia ruminal possui impacto significativo, no entendimento não só do aparelho digestivo e na fisiologia do ruminante, mas também é relevante no entendimento da ecologia dos outros ecossistemas anaeróbios.

Desenvolvimentos recentes na ecologia microbiana foram adaptados ao estudo do rúmen, fornecendo possibilidade de compreender toda a ecologia ruminal. O desenvolvimento de métodos de sequenciamento do DNA pode elucidar as interações bacterianas com o animal, permitindo a possibilidade de conhecer a diversidade microbiana e sua aplicação na saúde animal, na produtividade e segurança alimentar.

Há um vasto campo para pesquisa nessa área, pois ainda existem algumas limitações quantitativas em abordagens e métodos a serem utilizados.

### Considerações finais

Os trabalhos denominados “Estado da arte” tratam do nível mais alto de desenvolvimento de uma ciência, e por esse motivo, além da relevância econômica, foram eleitos os temas explanados nesse breve texto.

Dados apontam que a expectativa para o futuro é que os pesquisadores brasileiros atuantes na área

de nutrição de ruminantes continuem a desenvolver suas pesquisas visando sempre se enquadrar a realidade nacional e também a mundial, com o aumento da produtividade, buscando atender à demanda com produtos finais de qualidade atendendo às exigências do mercado consumidor, e atuando também por soluções para a redução dos impactos ambientais.

### Referências Bibliográficas

- Aikman, P. C., Henning, P. H., Humphries, D. J. & Horn, C. H. 2011. Rumen pH and fermentation characteristics in dairy cows supplemented with *Megasphaera elsdenii* NCIMB 41125 in early lactation. *Journal of Dairy Science*, 94, 2840-2849.
- Alexandratos, N. & Bruinsma, J. 2012. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. In: Rome, E. W. p. (ed.). FAO, Rome.
- Anderson, D. B., Moody, D. E. & Hancock, D. L. 2004. Beta adrenergic agonists. *Encyclopedia of Animal Science*, 1, 104-107.
- Antonelo, D. S. 2015. Efeitos da imunocastração e de beta-agonistas adrenérgicos sobre o desempenho, perfil sanguíneo, comportamento ingestivo e características de carcaça de bovinos Nelore confinados. *Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos*. Universidade de São Paulo, Pirassununga, São Paulo.
- ANUALPEC. 2015. *Anuário da Pecuária Brasileira*, 20th edn. Instituto FNP, São Paulo, SP, Brasil.
- Arcuri, P. B., Lopes, F. C. F. & Carneiro, J. C. 2011. Microbiologia do rumen. In: Berchielli, T. T., Pires, A. V. & Oliveira, S. G. (eds.) *Nutrição de Ruminantes*. FUNEP, Jaboticabal, Brazil.
- Arcuri, P. B. & Mantovani, H. C. 2006. Recentes avanços em microbiologia ruminal e intestinal:(BIO) tecnologias para a nutrição de ruminantes. In: EMBRAPA (ed.) *V Simpósio de Produção de Gado de Corte*.
- Bakkali, F., Averbek, S., Averbek, D. & Idaomar, M. 2008. Biological effects of essential oils—a review. *Food and Chemical toxicology*, 46, 446-475.
- Beckett, J. L., Delmore, R. J., Duff, G. C., Yates, D. A., Allen, D. M., Lawrence, T. E. & Elam, N. 2009. Effects of zilpaterol hydrochloride on growth rates, feed conversion, and carcass

- traits in calf-fed Holstein steers. *Journal of Animal Science*, 87, 4092-4100.
- Benchaar, C., Rivest, J., Pomar, C. & Chiquette, J. 1998. Prediction of methane production from dairy cows using existing mechanistic models and regression equations. *Journal of Animal Science*, 76, 617-627.
- Brigida, D. J. Características de carcaça e rendimento de cortes comerciais de bovinos Nelore confinados, imunocastrados e suplementados com beta-agonistas. *Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. Universidade de São Paulo, São Paulo*.
- Caine, W. R. & Mathison, G. W. 1992a. Influence of the  $\beta$ -adrenergic agonist cimaterol on body composition and whole body synthesis and degradation of protein in growing lambs. *Canadian Journal of Animal Science*, 72, 569-587.
- Caine, W. R. & Mathison, G. W. 1992b. Influence of the  $\beta$ -adrenergic agonist cimaterol on energetic efficiency and oxygen consumption in liver tissue of growing lambs. *Canadian Journal of Animal Science*, 72, 555-568.
- Calsamiglia, S., Busquet, M., Cardozo, P. W., Castillejos, L. & Ferret, A. 2007. Invited review: essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*, 90, 2580-2595.
- Cichewicz, R. H. & Thorpe, P. A. 1996. The antimicrobial properties of chile peppers (*Capsicum species*) and their uses in Mayan medicine. *Journal of Ethnopharmacology*, 52, 61-70.
- Cruz, O. T. B., Valero, M. V., Zawadzki, F., Rivaroli, D. C., Prado, R. M., Lima, B. S. & Prado, I. N. 2014. Effect of glycerine and essential oils (*Anacardium occidentale* and *Ricinus communis*) on animal performance, feed efficiency and carcass characteristics of crossbred bulls finished in a feedlot system. *Italian Journal of Animal Science*, 13, 3492.
- FAPRI. 2015. Food and Agricultural Policy Research Institute. In: Database, W. A. O. (ed.) *Food and Agricultural Policy Research Institute*. Iowa State University and University of Missouri-Columbia Ames, IA, USA.
- Ferreira, N. S. A. 2002. As pesquisas denominadas "estado da arte". *Educação & Sociedade*, 23, 257-272.
- Geraci, J. I., Garcarena, A. D., Gagliostro, G. A., Beauchemin, K. A. & Colombatto, D. 2012. Plant extracts containing cinnamaldehyde, eugenol and capsicum oleoresin added to feedlot cattle diets: Ruminal environment, short term intake pattern and animal performance. *Animal Feed Science and Technology*, 176, 123-130.
- Gonçalves, F. M., Corrêa, M. N., Anciuti, M. A., Gentilini, F. P., Zanusso, J. T. & Rutz, F. 2010. Nutrigenômica: situação e perspectivas na alimentação animal. *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*, 104, 569-572.
- Hocquette, J.-F. 2016. Is *in vitro* meat the solution for the future? *Meat Science*, 120, 167-176.
- Hocquette, J. F., Levéziel, H., Renand, G. & Malafosse, A. 2007. The genomics revolution also applies to the bovine genome. *Cahiers Agricultures*, 16, 163-169.
- Hocquette, J. F., Richardson, R. I., Prache, S., Medale, F., Duffy, G. & Scollan, N. D. 2005. The future trends for research on quality and safety of animal products. *Italian Journal of Animal Science*, 4, 49-72.
- Jayasena, D. D. & Jo, C. 2013. Essential oils as potential antimicrobial agents in meat and meat products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 34, 96-108.
- Jesus, R. B., Omori, W. P., Lemos, E. G. M. & Souza, J. A. M. 2015. Bacterial diversity in bovine rumen by metagenomic 16S rDNA sequencing and scanning electron microscopy. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 37, 251-257.
- Johnson, B. J., Smith, S. B. & Chung, K. Y. 2014. Historical overview of the effect of  $\beta$ -adrenergic agonists on beef cattle production. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27, 757-766.
- Leheska, J. M., Montgomery, J. L., Krehbiel, C. R., Yates, D. A., Hutcheson, J. P., Nichols, W. T., Streeter, M., Blanton, J. R. & Miller, M. F. 2009. Dietary zilpaterol hydrochloride. II. Carcass composition and meat palatability of beef cattle. *Journal of Animal Science*, 87, 1384-1393.
- Marsiglio, B. N. 2012. Óleos funcionais em dieta alto grão para Ovinos e efeitos sobre a digestibilidade dos Nutrientes, desempenho, características da Carcaça e do músculo *Longissimus dorsi*. *Departamento de*

- Zootecnia. Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- Martens, H., Rabbani, I., Shen, Z., Stumpff, F. & Deiner, C. 2012. Changes in rumen absorption processes during transition. *Animal Feed Science and Technology*, 172, 95-102.
- Mazon, M. R. 2016. Efeitos da Imunocastração e de agonistas beta-adrenérgicos sobre a qualidade da carne de bovinos. *Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. Universidade de São Paulo, Pirassununga, São Paulo*.
- Mersmann, H. J. 1998. Overview of the effects of beta-adrenergic receptor agonists on animal growth including mechanisms of action. *Journal of Animal Science*, 76, 160-72.
- Montgomery, J. L., Krehbiel, C. R., Cranston, J. J., Yates, D. A., Hutcheson, J. P., Nichols, W. T., Streeter, M. N., Bechtol, D. T., Johnson, E., TerHune, T. & Montgomery, T. H. 2009. Dietary zilpaterol hydrochloride. I. Feedlot performance and carcass traits of steers and heifers. *Journal of Animal Science*, 87, 1374-1383.
- Oetting, L. L. 2005. Extratos vegetais como promotores do crescimento de leitões recém-desmamados. *Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*. Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Ohene-Adjei, S., Chaves, A. V., McAllister, T. A., Benchaar, C., Teather, R. M. & Forster, R. J. 2008. Evidence of increased diversity of methanogenic archaea with plant extract supplementation. *Microbial Ecology*, 56, 234-242.
- Oliveira, M. S. C., Morais, S. M., Magalhães, D. V., Batista, W. P., Vieira, Í. G. P., Craveiro, A. A., Manezes, J. E. S. A., Carvalho, A. F. U. & Lima, G. P. G. 2011. Antioxidant, larvicidal and antiacetylcholinesterase activities of cashew nut shell liquid constituents. *Acta Tropica*, 117, 165-170.
- Patra, A. K. 2011. Effects of essential oils on rumen fermentation, microbial ecology and ruminant production. *Asian Journal of Animal Veterinary Advances*, 6, 416-428.
- Prado, I. N. 2010. *Produção de bovinos de corte e qualidade da carne*. Eduem, Maringá, Paraná, Brasil.
- Prado, I. N., Cruz, O. T. B., Valero, M. V., Zawadzki, F., Eiras, C. E., Rivaroli, D. C., Prado, R. M. & Visentainer, J. V. 2016. Effects of glycerin and essential oils (*Anacardium occidentale* and *Ricinus communis*) on the meat quality of crossbred bulls finished in a feedlot. *Animal Science Production*, 56, 2105-2114.
- Prado, I. N. & Moreira, F. B. 2002. *Suplementação de bovinos no pasto e alimentos usados na bovinocultura*. Eduem, Maringá, Paraná, Brasil.
- Rivaroli, D. C., Guerrero, A., Valero, M. M., Zawadzki, F., Eiras, C. E., Campo, M. M., Sañudo, C., Jorge, A. M. & Prado, I. N. 2016. Effect of essential oils on meat and fat qualities of crossbred young bulls finished in feedlots. *Meat Science*, 121, 278-284.
- Ross, E. M., Moate, P. J., Marett, L., Cocks, B. G. & Hayes, B. J. 2013. Investigating the effect of two methane-mitigating diets on the rumen microbiome using massively parallel sequencing. *Journal of Dairy Science*, 96, 6030-6046.
- Rotta, P. P., Prado, I. N. & Prado, R. M. 2010. Desempenho, qualidade da carcaça e da carne em bovinos. In: Prado, I. N. (ed.) *Produção de bovinos de corte e qualidade da carne*. Eduem, Maringá, Paraná, Brasil.
- Samadi, Jois, M., Dunshea, F. R. & Leury, B. J. 2013. The  $\beta$ 3-adrenergic agonist (BRL35135A) improves feed efficiency and decreases visceral but not subcutaneous fat in lambs. *Small Ruminant Research*, 109, 128-132.
- Sillence, M. N. & Matthews, M. L. 1994. Classical and atypical binding sites for  $\beta$ -adrenoceptor ligands and activation of adenylyl cyclase in bovine skeletal muscle and adipose tissue membranes. *British Journal of Pharmacology*, 111, 866-872.
- Silva, L. G., Torrecilhas, J. A., Passeti, R. A. C., Ornaghi, M. G., Eiras, C. E., Rivaroli, D. C., Valero, M. V. & Prado, I. N. 2014. Glycerin and cashew and castor oils in the diets for bulls finished in feed lot: ingestive behavior. *Semina: Ciências Agrárias*, 35, 1425-1439.
- Tag El-Din, A. E., Moharam, M. S., Nour, A. A. & Nasser, M. E. 2012. Effect of some herbs on the rumen fermentation: 1- Effect of ginger (*zingiber officinale*) and garlic (*allium*

- sativum*) on gas production, energy values, organic matter digestibility and methane emission, in vitro. *Journal of Agricultural and Environmental Science*, 11, 33-53.
- Tedeschi, L. O., Callaway, T. R., Muir, J. P. & Anderson, R. C. 2011. Potential environmental benefits of feed additives and other strategies for ruminant production. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, 291-309.
- Tirado-González, D. N., Jáuregui-Rincón, J., Tirado-Estrada, G. G., Martínez-Hernández, P. A., Guevara-Lara, F. & Miranda-Romero, L. A. 2016. Production of cellulases and xylanases by white-rot fungi cultured in corn stover media for ruminant feed applications. *Animal Feed Science and Technology*, 221, Part A, 147-156.
- Torrent, J. 2014. Óleos funcionais: uma alternativa como promotor de crescimento. *Boletim APAMVET*, 5, 20-21.
- Valero, M. V., Farias, M. S., Zawadzki, F., Prado, R. M., Fugita, C. A., Rivaroli, D. C., Ornaghi, M. & Prado, I. N. 2016. Feeding propolis or functional oils (cashew and castor oils) to bulls: performance, digestibility and blood cells counts. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 29, 33-42.
- Valero, M. V., Prado, R. M., Zawadzki, F., Eiras, C. E., Madrona, G. S. & Prado, I. N. 2014a. Propolis and essential oils additives in the diets improved animal performance and feed efficiency of bulls finished in feedlot. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 36, 419-426.
- Valero, M. V., Torrecilhas, J. A., Zawadzki, F., Bonafé, E. G., Madrona, G. S., Prado, R. M., Passetti, R. A. C., Rivaroli, D. C., Veisentainer, J. V. & Prado, I. N. 2014b. Propolis or cashew and castor oils effects on composition of *Longissimus* muscle of crossbred bulls finished in feedlot. *Chilean Journal of Agricultural and Research*, 74, 445-451.
- Van Liefde, I., Van Ermen, A., Van Witzenburg, A., Fraeyman, N. & Vauquelin, G. 1993. Species and strain-related differences in the expression and functionality of beta-adrenoceptor subtypes in adipose tissue. *Archives Internationales de Pharmacodynamie et de Therapie*, 327, 69-86.
- van Vuuren, A. M., Calsamiglia, S. & Udén, P. 2012. Rumen Health: A 360° Analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 172, 1-3.
- Vestergaard, M., Sejrsen, K. & Klastrup, S. 1994. Growth, composition and eating quality of *Longissimus dorsi* from young bulls fed the  $\beta$ -agonist cimaterol at consecutive developmental stages. *Meat Science*, 38, 55-66.
- Yang, W. Z., Ametaj, B. N., Benchaar, C., He, M. L. & Beauchemin, K. A. 2010. Cinnamaldehyde in feedlot cattle diets: Intake, growth performance, carcass characteristics, and blood metabolites. *Journal of Animal Science*, 88, 1082-1092.
- Zawadzki, F., Bonafé, E. G., Prado, R. M., Valero, M. V., Visentainer, J. V. & Prado, I. N. 2015. Corn replace by glycerin and functional oils (*Anacardium acid* and *Ricinoleic acid*) as additive alternative in the diets of crossbred bulls finished in feedlot: carcass and *Longissimus dorsi* characteristics. *Meat Science*, in press.
- Zawadzki, F., Valero, M. M. & Prado, I. N. 2010. Uso de aditivos na dieta de bovinos de corte. In: Prado, I. N. (ed.) *Produção de bovinos de corte e qualidade da carne*. Eduem, Maringá, Paraná, Brasil.
- Zeitz, J. O., Kreuzer, M. & Soliva, C. R. 2013. In vitro methane formation and carbohydrate fermentation by rumen microbes as influenced by selected rumen ciliate species. *European Journal of Protistology*, 49, 389-399.
- Zhang, W., Xiao, S., Samaraweera, H., Lee, E. J. & Ahn, D. U. 2010. Improving functional value of meat products. *Meat Science*, 86, 15-31.

**Article History:**

Received 16 December 2016

Accepted 26 January 2017

Available on line 31 January 2017

**License information:** This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.