

<https://doi.org/10.31533/pubvet.v15n10a936.1-10>

Sistemas agrossilvipastoris associados à modelagem nutricional podem minimizar os impactos da pecuária no bioma Caatinga

Ana Karina de Lima Chaves^{1*} , Rafael Gonçalves Tonucci² , Roberto Cláudio Fernandes Franco Pompeu² , Marco Aurélio Delmondes Bomfim² , Patrício Leandro Pereira¹ , Valcicleide Oliveira dos Santos¹ , Renato Gomes Fontinele³ 

¹Discentes de mestrado em Zootecnia, Universidade Estadual Vale do Acaraú. Sobral – CE, Brasil.

²Pesquisador na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Caprinos e Ovinos. Sobral - CE, Brasil

³Extensionista na Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará. Coreaú – CE, Brasil.

*Autor para correspondência E-mail: karinachaves15@yahoo.com.br

Resumo. A implantação dos sistemas agrossilvipastoris no bioma Caatinga é uma alternativa para mitigar os impactos ambientais gerados pela agropecuária. Quando esses sistemas são associados a tecnologias de baixa geração de resíduos podem otimizar a atividade pecuária e reduzir os custos de produção. A modelagem nutricional possibilita uma adequação do status nutricional dos animais e quando aplicada de forma continuada pode reduzir os custos com insumos externos. Com a aplicação do manejo nutricional também pode-se reduzir os processos de superpastejo sobre determinadas espécies e, consequentemente, reduzir os processos de degradação do solo. A espectroscopia de reflectância do infravermelho próximo (NIRS) é uma técnica com alto potencial de análise que possibilita averiguar a qualidade da dieta de animais pastejando em áreas livres a partir da aplicação de modelos nutricionais apropriados. Portanto, as pesquisas para o desenvolvimento de tecnologias limpas como os modelos nutricionais são imprescindíveis para fortalecer a cadeia produtiva e reduzir os impactos ambientais no bioma Caatinga.

Palavras-chave: Agrofloresta, agropecuária, ILPF, NIRS, nutrição

Agro-silvo-pastoralism systems associated with nutritional modeling can minimize the impacts of livestock in the Caatinga biome

Abstract. The implantation of agro-silvo-pastoralism systems in the Caatinga biome is an alternative to mitigate the environmental impacts generated by agriculture. When these systems are associated with low waste generation technologies, they can optimize livestock activity and reduce production costs. Nutritional modeling makes it possible to adjust the nutritional status of the animals and when applied continuously, it can also reduce the costs of external inputs. With the application of nutritional management, it is also possible to reduce the overgrazing processes on certain species and, consequently, the processes of soil degradation. Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) is a technique with a high potential for analysis that makes it possible to ascertain the quality of the diet of animals grazing in livestock from the application of nutritional models. Therefore, research for the development of clean technologies such as nutritional modeling are essential to strengthen the production chain and reduce environmental impacts in the Caatinga biome.

Keywords: Agriculture, agroforestry, ILPF, NIRS, nutrition

Introdução

Devido a ação antrópica observa-se mudanças nos ecossistemas pastoris da Caatinga. Nesse aspecto, a adoção de estratégias para recuperação e manutenção das espécies endêmicas nativas são fundamentais para mitigar os impactos ambientais das explorações pecuárias ([Santos et al., 2017](#)). O manejo sustentável do bioma é uma realidade possível através dos modelos de produção integrados como os sistemas agroflorestais ou agrossilvipastoris. Nesses sistemas obtêm-se de forma continuada produtos e serviços ambientais pela manutenção do ciclo produtivo onde são utilizados mecanismos de produção sustentável desenvolvidos pela pesquisa de desenvolvimento e inovação para manutenção da sustentabilidade da agricultura de modo a fortalecer a agropecuária.

A adoção de sistemas integrados do tipo agrossilvipastoris minimizam a pressão e a frequência de pastejo sobre as espécies nativas, diminuindo a fragilidade do ecossistema e elevando a capacidade de suporte para a produção animal mantendo a cobertura vegetal, o que proporciona conforto térmico aos animais ([Assis et al., 2019](#)). O planejamento adequado do arranjo espacial do sistema é fundamental para que se obtenha bons resultados das culturas exploradas.

Em regiões semiáridas, como o bioma Caatinga, em que há períodos longos de estiagem é necessário a adoção de estratégias de reserva alimentar e hídrica, já que a disponibilidade de alimento depende, dentre os vários fatores, da precipitação ao longo do ano, a qual influenciará diretamente na composição da dieta dos animais em pastejo ([Silva et al., 2017](#)). Desta forma, a produção em sistemas integrados quando aliado às tecnologias agrícolas e à informação técnica (melhoramento das pastagens e do manejo alimentar) proporciona ao pecuarista níveis de produção economicamente viáveis, assim como o uso da modelagem para aperfeiçoar o manejo dos rebanhos ([Tedeschi et al., 2015](#)).

Nesse contexto, objetivou-se apresentar informações sobre a implantação de sistemas agrossilvipastoris no bioma Caatinga e descrever sobre como a modelagem nutricional pode otimizar o desempenho dos rebanhos fornecendo suporte à estrutura da cadeia produtiva na região, reduzindo assim os impactos na degradação do bioma.

A dinâmica da vegetação da Caatinga na dieta de pequenos ruminantes

No que tange à sustentabilidade, a produção em sistemas integrados pode reduzir os impactos que interferem negativamente na dinâmica da vegetação da Caatinga pelo cultivo de espécies de interesse econômico (fruteiras, cereais, forrageiras) associadas às espécies nativas ([Santos et al., 2013](#)). Dessa forma, melhora-se a qualidade da forragem e dos atributos edáficos, que por meio da cobertura morta aporta-se matéria orgânica ao solo, aumenta a ciclagem dos nutrientes mitigando os efeitos da degradação.

Para Araújo Filho ([2013](#)), na Caatinga cerca de 70% das espécies arbóreas participam da dieta de animais ruminantes. No entanto, as lenhosas forrageiras apresentam diferenças estacionais em seus ciclos fenológicos que estão associadas às flutuações da composição química de sua folhagem que apresenta característica caducifolia adicionando ao solo cerca de quatro toneladas de matéria seca de forragem. A caducidade da vegetação arbustiva e arbórea ganha importância ainda maior para a dieta de caprinos e constitui um importante componente da manutenção da estrutura, fertilidade e biota do solo da Caatinga, chegando a perfazer cerca de 90% da dieta dos pequenos ruminantes durante a época seca ([Gonzaga Neto et al., 2001](#)). Os ovinos tendem a compensar a baixa qualidade do pasto ou acessibilidade pelo aumento do tempo de pastejo, da mesma forma que, em alta disponibilidade, a seleção também é comprometida, portanto, qualidade e quantidade de forragem na pastagem são interdependentes ([Santos et al., 2008](#)).

A preferência alimentar por gramíneas está relacionada ao estágio vegetativo, à medida que a estação seca avança há perda da qualidade e diminuição da disponibilidade das espécies herbáceas no pasto. Da mesma forma, a distribuição das folhas na planta nos planos horizontal e vertical é responsável pela forma como o animal promove a desfolha da planta ([Santos et al., 2008](#)). Em geral, a composição botânica da dieta é influenciada pela época do ano que está diretamente relacionada à disponibilidade da forragem, regulada pela variação na precipitação que altera a disponibilidade dos componentes da planta (folha, fruto ou semente).

Manejo pastoril da vegetação nativa

A implantação de sistemas agrossilvipastoris na Caatinga é realizada após a manipulação da vegetação lenhosa pelas técnicas de raleamento, rebaixamento e enriquecimento do pasto nativo em arranjos espaciais, para o manejo da pastagem, do tipo faixa, savana ou bosque a fim de elevar a oferta de forragem para os rebanhos ([Araújo Filho, 2013](#)). A consorciação de culturas proporciona maior eficiência do uso da terra, melhor conservação do solo, controla a população de plantas daninhas e promove a cobertura vegetal durante a maior parte do ano ([Silva et al., 2017](#)).

Os modelos de produção integrados também adotam a rotação de culturas e adubação verde em função da redução da produtividade decorrente do esgotamento dos recursos edáficos. Nesses casos, utiliza-se as leguminosas do gênero *Crotalaria*, gênero *Canavalia* (feijão de porco), gênero *Cajanus* (feijão guandú) e outras culturas que auxiliam na fixação biológica de nitrogênio e gramíneas como, por exemplo, o milho e o girassol que possuem sistema radicular mais desenvolvido para a descompactação do solo. Nesses casos, a qualidade do solo é que condiciona a escolha do adubo verde ([Nascimento et al., 2017](#)).

Composição química da vegetação nativa e exótica no bioma Caatinga

Visto que a época do ano influencia diretamente na quantidade e na qualidade da forragem, as principais alterações no pasto nativo do bioma são decorrentes do regime das chuvas ocasionando mudanças nas concentrações de matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) e pela presença das dicotiledôneas herbáceas que florescem durante o período chuvoso apresentando maior digestibilidade do que os estratos arbóreo e arbustivo da Caatinga ([Silva et al., 2017](#)).

Segundo Oliveira et al. (2018) as dicotiledôneas herbáceas oriundas do banco de sementes são componentes característicos da vegetação nativa que apresentam variabilidade climática interanual e modificam a estrutura e a composição florística da vegetação nativa. Os autores ainda destacam que a distribuição das águas na região tem influência direta sobre a variação da composição bromatológica dos estratos que compõe a vegetação nativa da Caatinga, o que é evidenciado na [Tabela 1](#), ao qual pode-se constatar as variações na qualidade bromatológica da vegetação nativa.

Tabela 1. Composição bromatológica da vegetação nativa da Caatinga durante as épocas seca e chuva.

	Estrato	MS	MM	PB	FDN	FDA	DIVMS	NDT	Autor
% na Matéria Seca	Pasto nativo								
	Seca	80,7 ¹	7,4 ¹	17,4 ¹	61,1 ¹	44,1 ¹	-	43,1*	Santos et al. (2010) Formiga et al. (2011) ¹
	Chuva	49,0 ²	9,7 ²	12,9 ²	59,9 ²	40,7 ²	53,9 ²	45,9*	Silva et al. (2017) ²
	Dicotiledôneas herbáceas nativas								
	Seca	57,1 ¹	5,9 ¹	4,8 ¹	75,7 ¹	71,8 ¹	46,2 ¹	38,8*	Formiga et al. (2011) ¹
	Chuva	45,9 ²	8,4 ²	11,9 ²	59,7 ²	42,2 ²	58,1 ²	46,4*	Silva et al. (2017) ²
	Monocotiledôneas herbáceas nativas								
	Seca	71,6 ¹	7,1 ¹	2,4 ¹	81,8 ¹	75,1 ¹	39,1 ¹	35,8*	Formiga et al. (2011) ¹
	Chuva	-	-	-	-	-	-	-	

MS = matéria seca; MM = matéria mineral; PB = proteína bruta; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido; DIVMS = digestibilidade *in vitro* da matéria seca; NDT = nutrientes digestíveis totais. *NDT = $91,6086 - 0,669233\text{FDN} + 0,437932\text{PB}$ ($R^2 = 0,71$) conforme Cappelle et al. (2001).

A concentração de PB na Caatinga geralmente não é fator limitante para animais em pastejo, especialmente durante a estação chuvosa ([Santana et al., 2011](#)). No entanto, um fator limitante de desempenho animal são os níveis elevados de compostos secundários, como taninos, quantidade significativa de lignina e forragem de baixa digestibilidade, juntamente com alto percentual de FDA que pode tornar a PB indisponível para o adequado desempenho animal mesmo em estações chuvosas ([Silva et al., 2017](#)). Esses autores ressaltam que o conhecimento das respostas metabólicas como a síntese de proteína microbiana, o balanço de nitrogênio e as perdas endógenas são fatores fundamentais para obter um perfil metabólico mais acurado dos animais criados no Nordeste e assim avaliar as respostas

produtivas, já que, em consequência do excesso de nitrogênio na dieta, há um aumento nos custos energéticos resultando em maior gasto de energia para a eliminação da ureia. Assim sendo, ao passo que a vegetação nativa da Caatinga não limita a PB, o excesso pode causar perda de energia e perda econômica, já que o ajuste do conteúdo de energia é considerado crítico para ruminantes, especialmente quando a alimentação é rica em fibras, isto significa que a disponibilidade de energia é regulada por um adequado fornecimento de proteína na dieta (Silva et al., 2010). Quando a energia é fator limitante na dieta, especialmente na puberdade, esta é responsável pela diminuição do desempenho ponderal, crescimento animal, fertilidade e entre outros (Resende et al., 2008).

Os componentes fibrosos são indispensáveis para a dieta de ruminantes. A fibra em detergente neutro (composta por celulose, hemicelulose e lignina) pode estimular ou inibir o consumo de alimento pelos ruminantes e a fibra em detergente ácido (celulose, lignina, sílica e proteína) estimula a mastigação são substratos para os microrganismos, manutenção dos padrões fermentativos e estabilidade do ambiente ruminal, que quando não disponibilizada em quantidade e qualidade pode causar distúrbios no metabolismo energético dos animais (Alves et al., 2016). Para reduzir os efeitos causados pela deficiência de energia para animais criados a pasto a introdução de espécies adaptadas à região e que apresentem boa tolerância ao sistema de produção é essencial para manter os índices produtivos. Considerando a produtividade e o valor biológico de gramíneas exóticas que geralmente são cultivadas na Caatinga, como as cultivares apresentadas na Tabela 2, se consorciadas com a vegetação nativa podem incrementar os níveis energéticos na dieta dos animais.

Tabela 2. Produtividade (kg ha⁻¹) e Composição bromatológica de gramíneas exóticas cultivadas em sistemas integrados na Caatinga

	Gramínea	kg ha ⁻¹	MM	PB	FDN	FDA	EE	NDT	Autor
% na Matéria Seca	Buffel	4500 ¹	9,1 ¹	3,6 ¹	80,1 ¹	71,9 ¹	3,5 ¹	36,4*	Santos et al. (2010) ¹ ; Silva et al. (2014) ² ;
	Andropogon	13820 ¹	4,2 ²	5,6 ²	73,4 ²	38,9 ²	1,2 ³	40,0*	Magalhães et al. (2012) ³ ; Pereira et al. (2018) ¹ .
	Tanzânia	3500 ¹	8,5 ¹	15,5 ¹	67,1 ¹	36,8 ¹	2,5 ¹	39,9*	Santos et al. (2011) ¹
	Massai	2880 ²	7,7 ¹	5,3 ¹	60,9 ¹	29,3 ¹	2,7 ¹	48,5*	Gurgel et al. (2017) ¹ ; Pereira et al. (2018) ² .
	Milheto	5500 ²	7,2 ¹	7,2 ¹	67,6 ¹	32,4 ¹	2,0 ²	43,2*	Simão et al. (2015) ¹ ; Frota et al. (2015) ² ;
	Sorgo	9925 ²	6,0 ¹	9,5 ¹	66,6 ¹	38,6 ¹	1,9 ¹	42,9*	Moraes et al. (2013) ² ; Calvo et al. (2010) ¹ ;
	Milho	9238 ²	4,1 ¹	7,7 ¹	62,7 ¹	28,8 ¹	3,7 ¹	46,3*	Moraes et al. (2013) ² ; Gonçalves et al. (2010) ¹

MS = matéria seca; MM = matéria mineral; PB = proteína bruta; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido; DIVMS = digestibilidade in vitro da matéria seca; NDT = nutrientes digestíveis totais. *NDT = 91,6086-0,669233FDN+0,437932PB (R² = 0,71) conforme Cappelle et al. (2001).

Tais variações na disponibilidade e qualidade do pasto causam o “superpastejo” sobre determinadas espécies devido a sua palatabilidade e também pela seletividade alimentar, muitas vezes, ocasionada pela presença dos compostos secundários na espécie vegetal reduzindo a frequência de pastejo sobre a mesma. Silva et al. (2010) ressaltam que há falta de dados sobre exigências nutricionais de ovinos nas condições de pastagem e sob condições de suplementação alimentar para ovinos no semiárido brasileiro. Os autores Tedeschi et al. (2015) enfatizam que o conhecimento limitado sobre o uso da modelagem para aperfeiçoar o manejo dos rebanhos de forma eficiente e lucrativa são os principais fatores a dificultar o desenvolvimento e aplicação dos modelos matemáticos. A exploração dessa técnica permitiria manter o equilíbrio entre a cadeia produtiva da pecuária e o ambiente, cuja vegetação nativa não seria superpastejada reduzindo os impactos dos processos degradativos com o enriquecimento da pastagem (associação com lavouras com adoção de tratamentos culturais) que associados com o balanceamento da dieta dos animais traria maior eficiência para a exploração pecuária.

Modelagem para estimativa das exigências nutricionais utilizando equações de predição

Os modelos nutricionais para pequenos ruminantes são constantemente modificados ou adaptados para atender os requisitos de energia e proteína de ovinos e caprinos sobre diversas práticas de manejo e que inicialmente foi desenvolvido com base no Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS). Dentre os comitês de alimentação comumente adotados no Brasil, destacam-se o britânico, AFRC; o americano, NRC; o francês, INRA e o australiano, CSIRO, aos quais encontram-se diferenças nos valores preconizados para as exigências nutricionais ([Resende et al., 2008](#)).

Para Tedeschi et al. ([2015](#)), os modelos melhoram o desempenho dos animais enquanto reduzem a excreção de nutrientes em excesso onde é possível realizar uma combinação empírica e mecanicista das funções fisiológicas, dadas as disponibilidades de conjuntos de dados de desenvolvimento e avaliação. Para as condições brasileiras Cabral et al. ([2008](#)) realizaram estimativas dos requisitos nutricionais de ovinos através de um compilado de trabalhos nacionais que possibilitam a estimativa da IMS (ingestão de matéria seca) e das exigências em NDT e PB para manutenção e ganho e peso de cordeiros.

Um ponto relevante para estimar as exigências dos animais é o tempo despendido para pastejo. Os autores Hübner et al. ([2008](#)) e Jochims et al. ([2010](#)) afirmam que ovinos que não recebem suplemento permanecem mais tempo em pastejo com maior dispêndio de energia para deslocamento, que está diretamente relacionado à qualidade do pasto em detrimento dos acidentes geográficos da região. De acordo com Resende et al. ([2008](#)), os valores relatados em estudos nas condições de pastagem e sob condições de suplementação alimentar no semiárido brasileiro podem ser utilizadas como fatores de correção adequando a realidade do sistema de criação aos modelos matemáticos do comitê ([NRC, 2007](#)) para estimar as exigências de manutenção de ovinos em pastejo.

Para outras conversões de energia, Cappelle et al. ([2001](#)) destacam que quando variáveis energéticas são conhecidas, NDT ou ED, todas as outras expressões podem ser calculadas, já que a realização de teste de digestão para todos os alimentos e todas as dietas seria de alto custo. Na formulação de dietas opta-se pelo uso de alimentos disponíveis na região para adequar os nutrientes requeridos pelos animais de acordo com sua categoria e de forma eficiente, a fim de possibilitar a expressão do potencial genético para crescimento e produção.

Para Makkar & Ankers ([2014](#)), o uso dos modelos matemáticos para adequar o manejo alimentar dos animais também permitem melhorar a sustentabilidade ambiental por minimizar o desmatamento e a poluição do ar pela redução da emissão dos gases de efeito estufa.

Modelagem nutricional para estimar o consumo utilizando equipamentos NIRS

A técnica NIRS (*Near Infrared Spectroscopy*) tem sido amplamente utilizada para análise de amostras fecais para determinar o crescimento, consumo diário na pastagem, composição química e digestibilidade da dieta selecionada e consumida por herbívoros. Com essa técnica é possível averiguar com precisão a dieta de animais pastejando em áreas livres e de forma não invasiva ([Schiborra et al., 2015](#)). Nesse caso é possível subtrair da exigência do animal os componentes químicos ingeridos para adequar o balanço nutricional do rebanho no momento avaliado e estimar com maior precisão quando e quanto suplementar o rebanho, reduzindo também os custos com insumos externos.

Segundo Stuth et al. ([2003](#)), para animais em pastejo a modelagem dos dados é feita basicamente a partir do método indireto (NIRS fecal), em que se utilizam amostras de extrusas como referência (variável dependente) para análise qualitativa e os espectros fecais (variáveis independentes) e em sequência é realizada a calibração do modelo. Nesse método, o NIRS prevê a ingestão de alimentos analisando a química fecal representando o que era consumido pelos animais através de frações ‘não digeridas’ ou subprodutos excretados nas fezes ([González et al., 2018](#)). O método direto consiste basicamente na análise do alimento que será ingerido pelo animal, assim pode-se obter rapidamente a composição química do alimento, reduzindo o tempo de análise laboratorial. Após a obtenção de modelos calibrados pode ser realizado o balanço nutricional a partir da previsão do consumo obtido pelo modelo, como é demonstrado na [Figura 1](#).

Após a obtenção de modelos calibrados o balanço nutricional pode ser realizado pela subtração do consumo (teor percentual estimado pelo modelo NIRS) pela exigência do animal no período avaliado

(Rees & Little, 1980). Os teores percentuais estimados pelos modelos NIRS são convencionados em outras expressões de energia, como as realizadas por Cappelle et al. (2001), modelos quais são necessários para estimar os balanços proteico e energético. Dessa forma, a técnica otimiza o tempo de análise trazendo mais produtividade quando comparada ao método tradicional de análise e testes de desempenho. O principal desafio é desenvolver um planejamento preciso e diversificado com um banco de amostras para calibrar os sensores NIRS com equações de predição nas condições ambientais que serão utilizados (González et al., 2018), pois estas variam de acordo com a capacidade de leitura espectral captada pelo equipamento NIR.

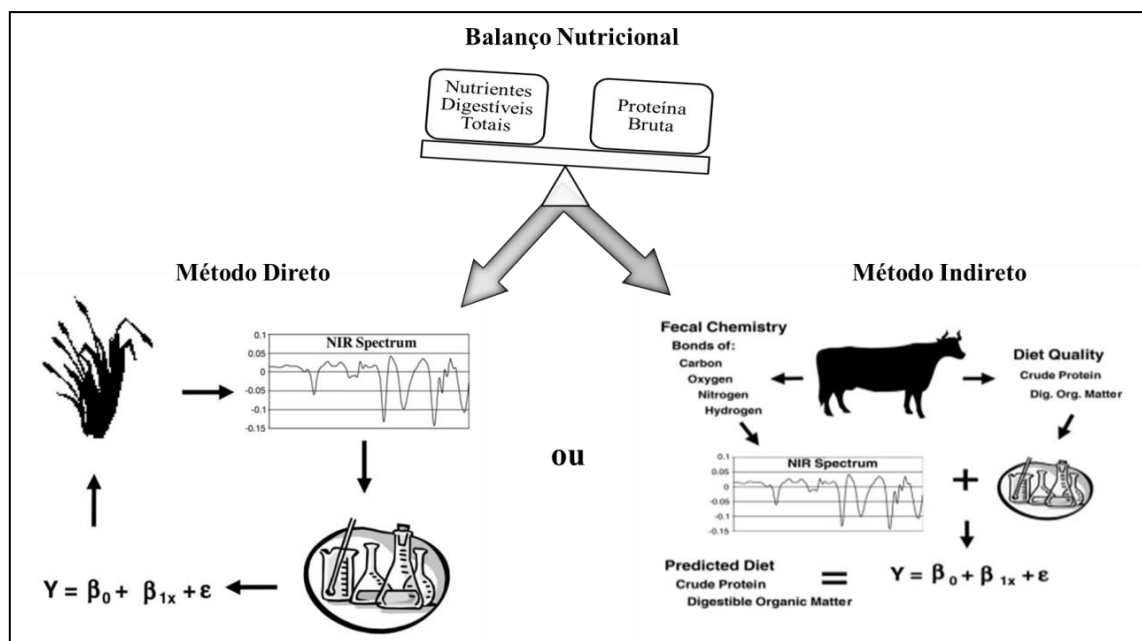


Figura 1. Balanço energético e proteico estimado a partir de modelos NIR, seja pelo método direto (análise do alimento) ou pelo método indireto (análise fecal). Esquematização adaptada de Stuth et al. (2003).

Kneebone & Dryden (2014) relataram que os modelos NIRS fecal prediz a MS, MO, PB, DMS e DMO em diferentes volumosos e concentrados na alimentação de ovinos com R^2 de 0.85 a 0.88 em que erro padrão das previsões de 4.0 a 6.4 g.kg $PC^{0.75}$ dia. Os autores ainda relataram que a ingestão de PB em g.kg $PC^{0.75}$ dia apresentou variação no R^2 de 0.64 a 0.98. Dixon & Coates (2009) relatam R^2 entre 0.46 e 0.92 ao prever IMS e IMO de forragens consumidas por caprinos. Segundo Almeida et al. (2018), os maiores coeficientes são observados para teores de PB das dietas com R^2 médios de 0.85 e para DMO com R^2 médio de 0.90. A precisão das previsões de IMS usando o NIRS fecal é menos satisfatória em comparação com DMO e PB, no entanto, estudos de alguns ingredientes ou frações que desaparecem completamente no trato gastrointestinal podem não ser captados pelo espectro NIR como, por exemplo, melaço e ureia (Kneebone & Dryden, 2015).

Atualmente, para o semiárido brasileiro foram desenvolvidos modelos NIRS fecal de PB e DMO in vitro para pequenos ruminantes pastejando em áreas de Caatinga, no qual os modelos foram construídos para desenvolver um software de análise do balanço nutricional específico para o bioma. Os modelos gerados apresentam caráter global interespecies abrangendo animais sem padrão de raça definido, assim como as demais raças de caprinos e ovinos nativas da região.

Os autores Silva (2016), Maciel (2016) e Gonçalves (2018) obtiveram R^2 de 0,84; 0,84 e 0,86 para modelos de PB e 0,81; 0,81 e 0,58 para DIVMO, respectivamente. Observa-se que os coeficientes de determinação apresentaram confiabilidade de aproximadamente 0,80 para amostras obtidas em um ambiente tão heterogêneo como o bioma da Caatinga.

Quimiometria para análise de previsão dos modelos NIRS

Após a calibração dos modelos, a avaliação da qualidade da dieta é realizada por meio das análises quimiométricas ou multivariadas para a modelagem dos dados utilizando softwares específicos. Dessa

forma podem ser traçadas correlações de similaridade entre o analito e o espectro que deu origem ao modelo, permitindo ao avaliador a aplicação da modelagem de maneira a reduzir os erros evitando a superestimativa ou subestimativa do resultado.

Posteriormente, a aplicação de um método de agrupamento (Clusters) é responsável por distribuir em tipos ou grupos os indivíduos em análise. As ferramentas de agrupamento compreendem a Análise de Componentes Principais (PCA) que designa as amostras em planos multidimensionais (bidimensionais, tridimensionais...), chamados pontos de fatores, que são projetados pelo recurso gráfico com dimensionalidade reduzida do espaço original entre as variáveis.

Na classificação ou criação de modelos no qual utiliza-se de ferramentas como a Modelagem Independente por Analogia de Classe (SIMCA) para classificação de dados baseada na PCA e avaliação do grau de similaridade com confiança de 95%. A aplicação dos modelos previsores as menores distâncias de Mahalanobis (H), que medem as pontuações dentro dos limites do Hotelling calculado a partir das cargas geradas no modelo de PCA (Mees et al., 2018).

Portanto, ao que se refere a quimiometria para a análise de alimentos ressalva-se que a sistematização dos métodos multidimensionais aptos a lidar com variáveis dessa natureza requerem a disponibilidade de softwares estatísticos que permitam investir em propostas metodológicas que viabilizem a análise quantitativa e multivariada de variáveis qualitativas (Carvalho, 2017), bem como na interpretação dos dados para trazer a informação técnica desejada.

Considerações finais

Ao confrontar-se com a realidade da produção no semiárido brasileiro nota-se que a capacidade de produzir e de estruturar a cadeia produtiva de pequenos ruminantes na região inicia-se na conscientização em aplicar metodologias nutricionais para otimizar a produção na região.

As pesquisas para o desenvolvimento de modelos nutricionais são imprescindíveis para fortalecer o conhecimento dos pesquisadores e extensionistas para que essa tecnologia possa ser aplicada em larga escala trazendo eficiência na produção pecuária do Nordeste brasileiro visando também reduzir os impactos ambientais no bioma Caatinga.

Referências bibliográficas

- Almeida, M. T. C., Delphino, T. R., Paschoaloto, J. R., Carvalho, V. B., Perez, H. L., D'Aurea, E. M. O., D'Aurea, A. P., Homem, A. C., Favaro, V. R., & Ezequiel, J. M. B. (2018). Predições da espectroscopia no infravermelho próximo podem determinar a digestibilidade e o consumo alimentar de cordeiros confinados. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 70, 597–605. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9548>
- Alves, A. R., Pascoal, L. A. F., Cambuí, G. B., Trajano, J. S., Silva, C. M., & Gois, G. C. (2016). Fibra para ruminantes: Aspecto nutricional, metodológico e funcional. *PUBVET*, 10(7), 513–579. DOI: <https://doi.org/10.22256/pubvet.v10n7.568-579>
- Araújo Filho, J. (2013). *Manejo pastoril sustentável da caatinga*. IICA, Brasília (Brasil) Projeto Dom Helder Camara, Recife (Brasil) Projeto
- Assis, P. C. R., Stone, L. F. M., Oliveira, J., Wruck, F. J., Madari, B. E., & Heinemann, A. B. (2019). Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *Agrarian*, 12(43), 57–70. DOI: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v12i43.8520>
- Cabral, L. S., Neves, E. M. de O., Zervoudakis, J. T., Abreu, J. G. de, Rodrigues, R. C., Souza, A. L., & Oliveira, Í. S. (2008). Estimativas dos requisitos nutricionais de ovinos em condições brasileiras. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 9(3), 529–542.
- Calvo, C. L., Simoneti, J. J. S., & Brancalhão, S. R. (2010). Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de corte. *Bragantia*, 69(1), 77–86.
- Cappelle, E. R., Valadares Filho, S. C., Silva, J. F. C., & Cecon, P. R. (2001). Estimativas do valor energético a partir de características químicas e bromatológicas dos alimentos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(6), 1837–1856. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1516-35982001000700022>

- Carvalho, H. (2017). *Análise multivariada de dados qualitativos-utilização da ACM com o SPSS*.
- Dixon, R., & Coates, D. (2009). Near infrared spectroscopy of faeces to evaluate the nutrition and physiology of herbivores. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 17(1), 1–31. DOI: <https://doi.org/10.1255/jnirs.822>
- Formiga, L. D. A. S., Pereira Filho, J. M., Oliveira, N. S., Silva, A. M. A., Cézar, M. F., & Soares, D. C. (2011). Valor nutritivo da vegetação herbácea de caatinga enriquecida e pastejada por ovinos e caprinos. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 12(2), 2015.
- Frota, B. C. B., Pires, D. A. A., Aguilar, P. B., Rodrigues, J. A. A. S., Rocha Júnior, V. R., & Reis, S. T. (2015). Características nutricionais de genótipos de milho no período da safra. *Scientia Agraria Paranaensis*, 14(2), 106–111. DOI: <https://doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v14n2p106-111>
- Gonçalves, J. R. S., Pires, A. V., Susin, I., Lima, L. G., Mendes, C. Q., & Ferreira, E. M. (2010). Substituição do grão de milho pelo grão de milho em dietas contendo silagem de milho ou silagem de capim-elefante na alimentação de bovinos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(9), 2032–2039. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000900023>
- Gonçalves, J. D. L. (2018). Monitoramento da nutrição de pequenos ruminantes na caatinga cearense, utilizando a espectroscopia NIR. Tese. Areia, PB, Brasil.
- Gonzaga Neto, S., Batista, Â. M. V., Carvalho, F. F. R., Martínez, R. L. V., Barbosa, J. E. A. S., & Silva, E. O. (2001). Composição bromatológica, consumo e digestibilidade in vivo de dietas com diferentes níveis de feno de catingueira (*Caesalpinia bracteosa*), fornecidas para ovinos Morada Nova. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(2), 553–562. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1516-35982001000200035>
- González, L. A., Kyriazakis, I., & Tedeschi, L. O. (2018). Precision nutrition of ruminants: approaches, challenges and potential gains. *Animal*, 12(s2), s246–s261. DOI: <https://doi.org/10.1017/s1751731118002288>
- Gurgel, A. L. C., Difante, G. S., Emerenciano Neto, J. V., Souza, J. S., Veras, E. L. L., Costa, A. B. G., Carvalho Neto, R. T., Fernandes, L. S., Cunha, J. C., & Roberto, F. F. S. (2017). Estrutura do pasto e desempenho de ovinos em capim-massai na época seca em resposta ao manejo do período das águas. *Boletim de Indústria Animal*, 74(2), 86–95.
- Hübner, C. H., Pires, C. C., Galvani, D. B., Carvalho, S., Jochims, F., Wommer, T. P., & Gasperin, B. G. (2008). Comportamento ingestivo de ovelhas em lactação alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de fibra em detergente neutro. *Ciência Rural*, 38(4), 1078–1084. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-84782008000400027>
- Jochims, F., Pires, C. C., Griebler, L., Bolzan, A. M. S., Dias, F. D., & Galvani, D. B. (2010). Comportamento ingestivo e consumo de forragem por cordeiras em pastagem de milho recebendo ou não suplemento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 572–581. DOI: [10.1590/S1516-35982010000300017](https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000300017)
- Kneebone, D. G., & Dryden, G. M. (2015). Prediction of diet quality for sheep from faecal characteristics: comparison of near-infrared spectroscopy and conventional chemistry predictive models. *Animal Production Science*, 55(1), 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1071/an13252>
- Maciel, M. V. (2016). Monitoramento nutricional da dieta de pequenos ruminantes utilizando espectroscopia da reflectância do infravermelho próximo (NIRS) no sertão de Pernambuco. Tese, Recife, PE, Brasil.
- Magalhães, J. A., Carneiro, M. S. S., Andrade, A. C., Pereira, E. S., Souto, J. S., Pinto, M. S. de C., Rodrigues, B. H. N., Costa, N. L., & Mochel Filho, W. (2012). Eficiência do nitrogênio, produtividade e composição do capim-andropogon sob irrigação e adubação. *Archivos de Zootecnia*, 61(236), 577–588. DOI: <https://doi.org/10.21071/az.v61i236.2213>
- Makkar, H. P. S., & Ankers, P. (2014). Towards sustainable animal diets: a survey-based study. *Animal Feed Science and Technology*, 198, 309–322. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.09.018>
- Mees, C., Souard, F., Delporte, C., Deconinck, E., Stoffelen, P., Stévigny, C., Kauffmann, J.-M., & Braekeleer, K. (2018). Identification of coffee leaves using FT-NIR spectroscopy and SIMCA. *Talanta*, 177, 4–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.09.056>

- Moraes, S. D., Jobim, C. C., Silva, M. S., & Marquardt, F. I. (2013). Produção e composição química de híbridos de sorgo e de milho para silagem. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 14(4), 624–634.
- Nascimento, M. R., Jaeggi, M., Saluci, J. C. G., Guidinelle, R. B., Pereira, I. M., Zacarias, A. J., Rodrigues, R. R., Silva, S. F., & Souza, M. N. (2017). Efeito da adubação verde na cultura do milho (*Zea mays* L.). *Revista Univap*, 22(40), 698. DOI: <http://dx.doi.org/10.18066/revistaunivap.v22i40.1431>
- NRC. (2007). *Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids* (7th rev.). Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Oliveira, E. V. S., Prata, A. P. N., & Pinto, A. S. (2018). Caracterização e atributos da vegetação herbácea em um fragmento de Caatinga no Estado de Sergipe, Brasil. *Hoehnea*, 45, 159–172. DOI: <https://doi.org/10.1590/2236-8906-70/2017>
- Pereira, G. F., Lima, P. O., Assis, L., & Emerenciano, J. V. (2018). Consumo de nutrientes, comportamento ingestivo e desempenho de ovinos alimentados com fenos de gramíneas tropicais em diferentes intervalos entre cortes. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 70, 897–904. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9775>
- Rees, M. C., & Little, D. A. (1980). Differences between sheep and cattle in digestibility, voluntary intake and retention time in the rumen of three tropical grasses. *The Journal of Agricultural Science*, 94(2), 483–485. DOI: <https://doi.org/10.1017/s0021859600029105>
- Resende, K. T., Silva, H. G. O., Lima, L. D., & Teixeira, I. A. M. A. (2008). Avaliação das exigências nutricionais de pequenos ruminantes pelos sistemas de alimentação recentemente publicados. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(SPE), 161–177. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1516-35982008001300019>
- Santana, D. F. Y., Lira, M. A., Santos, M. V. F., Ferreira, M. A., Silva, M. J. A., Marques, K. A., Mello, A. C. L., & Santos, D. C. (2011). Caracterização da caatinga e da dieta de novilhos fistulados, na época chuvosa, no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, 69–78. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1516-35982011000100010>
- Santos, G. R. A., Batista, A. M. V., Guim, A., Santos, M. V. F., Silva, M. J. A., & Pereira, V. L. A. (2008). Determinação da composição botânica da dieta de ovinos em pastejo na Caatinga. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(10), 1876–1883. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1516-35982008001000023>
- Santos, H. P., Fontaneli, R. S., Spera, S. T., & Dreon, G. (2013). Conversão e balanço energético de sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 8(1), 1–7. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v8i1a1392>
- Santos, M. O., Almeida, B. V., Ribeiro, D. A., Macêd, D. G., Macedo, M. J. F., Macedo, J. G. F., Sousa, F. F. S., Oliveira, L. G. S., Saraiva, M. E., & Araujo, T. (2017). The conservation of native priority medicinal plants in a Caatinga area in Ceará, northeastern Brazil. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 89, 2675–2685. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160633>
- Santos, M. V. F., Lira, M. A., Dubeux Junior, J. C. B., Guim, A., Mello, A. C. L., & Cunha, M. V. da. (2010). Potential of caatinga forage plants in ruminant feeding. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 204–215. DOI: https://doi.org/10.1590/s1516-3598201000130002_X3
- Santos, V. R. V., Louvandini, H., McManus, C., & Brito, D. (2011). Características estruturais e bromatológicas do capim Tanzânia sob pastejo isolado, simultâneo e alternado de ovinos com bovinos. *Ciência Animal Brasileira*, 12(4), 670–680. <https://doi.org/10.5216/cab.v12i4.9946.0>,
- Schiborra, A., Bulang, M., Berk, A., Susenbeth, A., & Schlecht, E. (2015). Using faecal near-infrared spectroscopy (FNIRS) to estimate nutrient digestibility and chemical composition of diets and faeces of growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 210, 234–242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.10.011>
- Silva, J. K. (2016). Monitoramento de atributos nutricionais em caprinos sob pastejo na caatinga paraibana, empregando a tecnologia NIRS. Tese, Areia, PB, Brasil.

- Silva, D. C., Alves, A. A., Lacerda, M. S. B., Moreira Filho, M. A., Oliveira, M. E., & Lafayette, E. A. (2014). Valor nutritivo do capim-andropogon em quatro idades de rebrota em período chuvoso. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 15(3), 626–636.
- Silva, M. J. S., Silva, D. K. A., Magalhães, A. L. R., Pereira, K. P., Silva, É. C. L., Cordeiro, F. S. B., Noronha, C. T., & Santos, K. C. (2017). Influence of the period of year on the chemical composition and digestibility of pasture and fodder selected by goats in caatinga. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 18, 402–416. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1519-99402017000300001>
- Silva, N. V., Costa, R. G., Freitas, C. R. G., Galindo, M. C. T., & Silva, L. S. (2010). Alimentação de ovinos em regiões semiáridas do Brasil. *Acta Veterinaria Brasilica*, 4(4), 233–241. DOI: <https://doi.org/10.21708/avb.2010.4.4.1906>
- Simão, E. D. P., Gontijo Neto, M. M., Santos, E. A., & Wendling, I. J. (2015). Produção de biomassa e composição bromatológica de duas cultivares de milho semeado em diferentes épocas. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 14(2), 196–206. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v14n2p196-206>
- Stuth, J., Jama, A., & Tolleson, D. (2003). Direct and indirect means of predicting forage quality through near infrared reflectance spectroscopy. *Field Crops Research*, 84(1–2), 45–56. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0378-4290\(03\)00140-0](https://doi.org/10.1016/s0378-4290(03)00140-0)
- Tedeschi, L. O., Muir, J. P., Riley, D. G., & Fox, D. G. (2015). The role of ruminant animals in sustainable livestock intensification programs. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 22(5), 452–465. DOI: <https://doi.org/10.1080/13504509.2015.1075441>

Histórico do artigo:**Recebido:** 13 de maio de 2021.**Aprovado:** 30 de junho de 2021.**Licenciamento:** Este artigo é publicado na modalidade Acesso Aberto sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 (CC-BY 4.0), a qual permite uso irrestrito, distribuição, reprodução em qualquer meio, desde que o autor e a fonte sejam devidamente creditados.