

Composição bromatológica de silagens de milho comerciais produzidas no Brasil

Faria, T.F.R.; Pinese, F.®; Gimenes, F.M.A.; Demarchi, J.J.A.A.; Campos, F.P.; Premazzi, L.M.; Mattos, W.T. e Gerdes, L.

Instituto de Zootecnia, Nova Odessa, Brasil.

PALAVRAS CHAVE ADICIONAIS

Conservação de forragem.
Ensilagem.
Valor nutritivo.
Zea mays.

ADDITIONAL KEYWORDS

Forage conservation.
Ensilage.
Nutritional value.
Zea mays.

INFORMATION

Cronología del artículo.
Recibido/Received: 20.05.2019
Aceptado/Accepted: 31.08.2019
On-line: 15.04.2020
Correspondencia a los autores/Contact e-mail:
fabiopinese@hotmail.com.br

INTRODUÇÃO

Nos últimos 25 anos a produção de silagem de planta inteira de milho tornou-se importante e popular no sistema de produção leiteira mundial (Ferrareto et al. 2018, p.3937). A intensificação dos sistemas produtivos fez com que parte dos produtores aderisse à suplementação de volumosos com o uso de forragem

conservada, com a ensilagem sendo o principal processo adotado para conservação de forragem nas propriedades rurais, e o milho a principal cultura utilizada (Vilela et al. 2016, p.435). Neste contexto, gerou-se uma maior demanda para o uso de silagem de planta inteira de milho, que é uma planta com alta produtividade e qualidade nutricional (Jaremtchuk et al. 2005, p.181; Oliveira et al. 2010, p.61). Atualmente, a silagem de

RESUMO

Objetivou-se realizar a análise exploratória dos resultados bromatológicos e uso de modelos para estimativa de nutrientes digestíveis totais de amostras de silagens de milho, por meio dos dados gerados a partir de 12 anos de análises comerciais do Laboratório de Nutrição Animal do Instituto de Zootecnia (IZ), em Nova Odessa, SP, Brasil. Como critério, utilizaram-se dados de amostras de silagens de milho sem nenhum tipo de aditivos, somando 220 amostras nos períodos de 2004 a 2015 e agrupados em quatro triênios. Estes foram caracterizados quanto à sua composição bromatológica através de análise estatística descritiva, correlações de Pearson e pela utilização de modelos de estimativas de NDT, utilizando-se quatro modelos de equações: uma da Universidade de Clemson, uma segundo Harlan e duas segundo Kearnl (1 e 2). O valor nutricional das amostras de silagens de milho mostrou-se de qualidade mediana, com valores de FDN (49,2 a 57,2% da MS) acima do ideal de 37 a 45% da MS. Todas as equações puderam ser utilizadas na estimativa do NDT (variação de 54,3 a 67,0% nos triênios) sendo que a de Kearnl 1 e Clemson apresentaram a maior e a menor variação entre os triênios, respectivamente. O aumento do valor nutritivo e de NDT nos triênios 3 e 4 indica melhoria na qualidade da silagem.

Chemical composition of commercial corn silage produced in Brazil

SUMMARY

The objective was to perform the exploratory analysis of the chemical composition results and the use of models to estimate the total digestible nutrients of the corn silage samples generated from 12 years of commercial analyzes of the Animal Nutrition Laboratory of the Instituto de Zootecnia (IZ), in Nova Odessa, SP, Brazil. As a criterion, samples of corn silage had no additives, 220 samples in the periods from 2004 to 2015 were grouped in four triennia. These were characterized by their chemical composition through descriptive statistical analysis, Pearson correlations and the use of TDN estimation models, using four models of equations: one from Clemson University, one according Harlan and two according Kearnl (1 and 2). The nutritional value of corn silage samples was of medium quality, with NDF values (49.2 to 57.2% of MS) above the ideal. All the equations could be used to estimate the NDT (variation of 54.3 to 67.0% in the triennia), Kearnl 1 and Clemson showed the highest and the lowest variation between the triennia, respectively. The increase in nutrient value and TDN in triennial 3 and 4 indicates improvement in silage quality.

milho é o segundo volumoso mais consumido por vacas leiteiras no mundo, quantidade inferior apenas aos capins (Khan et al. 2012, p.36; Khan et al. 2015, p.238).

Para o atendimento das exigências nutricionais de vacas em lactação há necessidade de melhoria no valor nutritivo da silagem ofertada aos animais. A busca de melhores resultados em desempenho animal utiliza a nutrição de precisão que, no caso da silagem de milho, deve estar embasada em dados completos e confiáveis sobre a produção de forragem no campo, o processo de ensilagem e o fornecimento aos animais (Ferrareto et al. 2018, p.3937). Desta forma, o aumento do entendimento sobre os dados de valor nutritivo e a melhoria dos métodos laboratoriais de análises possibilitará melhoria nos modelos de formulação de dietas utilizados atualmente.

Porém, desde os anos 2000, Beegle et al. (2000, p.72) apontaram que a carência de dados com informações nutricionais popularizadas e de fácil acesso é um dos principais fatores limitantes para a adoção de conceitos modernos de nutrição animal. Esse desafio ainda existe e, portanto, a criação de bancos de dados nutricionais pode ser um importante incentivo para a modernização do processo produtivo.

O Laboratório de Nutrição Animal do Instituto de Zootecnia (IZ) possui, atualmente, um banco de dados com as análises bromatológicas realizadas entre os anos de 2004 a 2015, incluindo amostras de silagem de milho oriundas de diversos locais, com potencial de uso para caracterização qualitativa dessas silagens. Há uma expectativa de melhoria na qualidade nutricional da silagem de planta inteira de milho no Brasil ao longo dos períodos amostrados, resultado da adoção de tecnologias na confecção de silagens. Além disso equações para estimar os nutrientes digestíveis totais (NDT) dos alimentos podem ser usados como indicativos de alterações na energia da silagem de planta inteira de milho ao longo do tempo, visto a maior facilidade de aplicação de equações de NDT em relação à energia líquida (EL) (NRC, 2000).

Objetivou-se realizar uma análise exploratória da composição bromatológica de amostras de silagens de planta inteira de milho pertencentes ao banco de dados do Laboratório de Nutrição Animal do Instituto de Zootecnia no período de 2004 a 2015 e estimar o teor de nutrientes digestíveis totais através de equações publicadas na literatura internacional.

MATERIAL E MÉTODOS

Os resultados das análises bromatológicas de silagens de planta inteira de milho foram avaliados levando em consideração o período entre os anos de 2004 a 2015. Nesse período o banco de dados acumulou um total de 323 amostras de silagens de planta inteira de milho, sendo 220 provenientes de propriedades rurais (68,1%) e 103 (31,9%) provenientes de trabalhos de pesquisas, das quais foram selecionadas para esta avaliação 220 amostras oriundas das propriedades rurais e trabalhos de pesquisa, apenas aquelas de silagem de planta inteira de milho exclusivas, sem nenhum tipo de aditivos e/ou outras plantas forrageiras, sendo

97 amostras do Triênio 1, 26 amostras do Triênio 2, 61 amostras do Triênio 3 e 36 amostras do Triênio 4. As variáveis utilizadas para avaliação das silagens foram: Matéria seca (MS), obtida pela multiplicação entre as matérias secas realizadas (MS a 55 e a 105 °C; MS55 e MS105) e o resultado dividido por 100; material mineral (MM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e extrativo não nitrogenado (ENN), segundo AOAC (1990), fibra bruta (FB), fibra em detergente neutro (FDN), nitrogênio em FDN (NFDN), fibra em detergente ácido (FDA), nitrogênio em FDA (NFDA), lignina (Lig), celulose (Cel) e hemicelulose (Hem), segundo Van Soest et al. (1991), além de nutrientes digestíveis totais (NDT), estimado pela equação de Kearnl 1 (KEARL, 1982), conforme padrão do Laboratório. Também foram descritas a MS55 com a amostra seca em estufa, após chegada ao laboratório antes da moagem, MS105, realizada após a moagem do material e o valor obtido utilizado para correção de todas as demais variáveis.

As variáveis PB, FB, EE, ENN, MM, FDN, FDA, Cel e Lig estão expressas em percentual (%) da MS e as variáveis NFDN e NFDA estão expressas em percentual (%) do nitrogênio (N) total da amostra.

Os dados químico-bromatológicos relativos ao período avaliado foram agrupados em triênios, com o objetivo de facilitar a compreensão dos resultados e reduzir o impacto dos diferentes números de amostras nos anos, da seguinte forma: Triênio 1 (2004 a 2006), Triênio 2 (2007 a 2009), Triênio 3 (2010 a 2012) e Triênio 4 (2013 a 2015). Para estimativas do NDT, quatro modelos de equação foram utilizados e comparados entre si: a equação de Clemson (citada por Medeiros & Albertini 2015, p. 176), as equações de Kearnl 1 e 2 (Kearnl 1982, p. 381) e a equação de Harlan (Harlan et al. 1991, p. 1337), as quais estão a seguir apresentadas.

Equação 1: Equação da Universidade de Clemson:

$$\text{NDT} = 93,59 - (\text{FDA} \times 0,936)$$

As equações de Kearnl 1 e 2, em que utiliza o método Wendee, onde não há fracionamento da porção fibra:

Equação 2: Equação de Kearnl – 1 (Pastagens e Forragens Frescas):

$$\% \text{NDT} = -21,7656 + 1,4284\% \text{PB} + 1,0277\% \text{ENN} + 1,2321\% \text{EE} + 0,4867\% \text{FB}$$

Equação 3: Equação de Kearnl – 2 (Silagens de Volumosos):

$$\% \text{NDT} = -21,9391 + 1,0538\% \text{PB} + 0,9736\% \text{ENN} + 3,0016\% \text{EE} + 0,4590\% \text{FB}$$

Equação de Harlan, onde há a integração de energia digestível e a composição de nutrientes da forragem para estimar NDT para vacas secas:

Equação 4: $NDT, \% = 53,1 \times (ELL/2,2) + 31,4$

$ELL = (1,044 - (0,0124 \times FDA)) \times 2,2$

Em que ELL = energia líquida de lactação.

Foi utilizada uma estatística descritiva, com análise não paramétrica, utilizando o procedimento Univariate do SAS versão 9.2, com Teste de location e de significância o Teste T, dentro de cada triênio. As relações entre MS total, PB, EE, ENN, MM, NDT, FDN, FDA NFDN, NFDA Cel e Lig foram realizadas por correlações de Pearson, com uso do PROC CORR do pacote estatístico SAS® (Statistical Analysis System), versão 8.2 para Windows® (SAS, 2010) e o coeficiente de correlação descrito quando $P < 0,05$.

Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado, com medidas repetidas no tempo para a avaliação dos modelos de equação de predição dos nutrientes digestíveis totais (NDT) e os triênios avaliados. Analisaram-se os dados num esquema fatorial 4×4 , sendo quatro triênios e utilização de quatro modelos de equações para estimativas do NDT. Utilizou-se do PROC Mixed do pacote estatístico SAS® (Statistical Analysis System), versão 9.4 para Windows® (SAS, 2010) para análises de médias, adotando nível de significância de 5%, pelo teste de Tukey-Kramer.

RESULTADOS

Os valores de MS apresentaram reduzida variação entre os Triênios 2 e 4, (92,4 e 93,5%, respectivamente), enquanto uma variação maior foi observada para MS55, de 30,8% (Triênio 1) a 44,8% (Triênio 3) (Tabela I). A matéria seca original teve seu menor valor no Triênio 1 (28,8%) e maior no Triênio 3 de (42,9%). A PB variou de 8,8 no triênio 3 até valor de 12,5% da MS105 no Triênios 2. Enquanto a fibra bruta apresentou a amplitude de 22,3% observada no Triênio 3, a 25,9% no Triênio 2. O EE teve variação de 2,2 nos Triênios 3 e 4 a 3,5% no Triênio 1. A MM variou de 5,6 no Triênio 1 a 6,9% no Triênio 2. As frações de fibra FDN e FDA apresentaram valores diferentes entre os triênios, com maior valor de FDN no Triênio 1 (57,2%) e FDA no Triênio 2 (42,0%) enquanto os menores valores de FDN estiverem no Triênio 2 (49,2%) e de FDA no Triênio 4 (30,5%). Os valores de NFDN variaram de 11,9 no Triênio 4 a 16,6% do N total da amostra no Triênio 3. Para NFDA houve amplitude de 8,9 no Triênio 4 a 10,2 no Triênio 2. O teor de celulose variou de 26,2 no Triênio 4 a 28,6% no Triênio. E para lignina tivemos a menor média no Triênio 4 e a maior no Triênio 1.

Dentre as correlações significativas e que tiveram seu coeficiente de determinação maior que 0,5 destacam-se as correlações positivas entre FDN e demais componentes da fibra, como FDA (0,87), NFDN (0,58), NFDA (0,55) e celulose (0,68) (Tabela II). Para proteína bruta, houve correlação positiva com EE (0,74) e negativa com ENN (-0,55) e componentes da fibra como NFDN (-0,61) e NFDA (-0,68). Os nutrientes digestíveis totais apresentaram poucas correlações significativas

(EE, FDN e Lig) e nenhuma delas com coeficiente de determinação acima de 0,5.

Os valores de NDT apresentados são originais, porém as diferenças estatísticas são apontadas de acordo com a análise realizada com os dados transformados ($NDT=Y^2$). Houve diferença em relação ao modelo ($P < 0,0001$), Triênio ($< 0,0001$) e interação entre modelo \times triênio ($P = 0,0034$) (Tabela III).

Para o Triênio 1 os valores obtidos pelos modelos Harlan, Clemson e Kearn 2 não diferiram entre si e o modelo de Harlan resultou em maior valor em relação ao modelo de Kearn 1 (Tabela III). Já para o Triênio 2, o modelo de Kearn 2 apresentou maior valor de NDT, sem diferença significativa quando comparado ao modelo de Clemson, seguido pelo de Harlan e, o menor valor, foi obtido pelo modelo de Kearn 1, que diferiu dos demais. Para o Triênio 3, os modelos de Kearn 2, Clemson e Harlan não diferiram entre si e demonstraram os maiores valores, tendo o modelo de Kearn 1 apresentado o menor valor. Para o Triênio 4, os modelos com maiores valores foram Kearn 2, Harlan e Kearn 1, e o menor valor foi para o modelo de Clemson.

Para o modelo de Kearn 1, os Triênios 3 e 4 apresentaram os maiores valores, seguidos dos Triênios 1 e 2, os quais apresentaram o menor valor. Já para os modelos de Kearn 2 e Clemson não houve diferença entre os Triênios. Para o modelo de Harlan, apenas o Triênio 2 diferiu dos demais e apresentou NDT inferior.

DISCUSSÃO

As médias dos teores de MS observados variam com os Triênios analisados (Tabela I), fato esse provavelmente devido à grande variabilidade na origem das amostras e fatores de produção, processamento, armazenamento e envio do material. Parte das amostras foi enviada por pesquisadores que utilizaram silagem de planta inteira de milho em projetos de pesquisa e outra por produtores rurais, de diversas regiões do país. Além disso, outros fatores como ponto de corte da planta de milho para ensilagem, híbrido utilizado, tipo de silo usado para armazenamento e densidade de armazenamento podem contribuir para as variações observadas nas médias de MS apresentadas (Tabela I). O intervalo de matéria seca ideal no material a ser ensilado situa-se no intervalo de 28 a 37% (Nussio 1991, p. 59; Cruz 1998, p. 93). Segundo Khan et al. (2015, p. 238), milho ensilado abaixo de 25% de MS há redução no teor de amido e relação amido/FDN, resultando em menor consumo e desempenho animal.

As médias de proteína bruta (PB) variaram entre 8,8 e 12,5% (Tabela I), valores superiores aos encontrados por Valadares Filho et al. (2002), entre 6,0 e 8,6% de PB e próximos aos encontrados por Villela (2001, p. 435), de 6,7 a 8,0%. Em duas densidades de compactação (500 e 600 kg MV/m³) os teores de proteína encontrados na silagem foram de 8% (Velho et al. 2007, p. 1532). Esses resultados mostram que os teores de proteína bruta determinados nas amostras estão dentro do padrão apresentado na literatura científica, o que foi importante constatar, pois dão um importante indicativo da qualidade da silagem, sendo que a fração protéica

é o componente mais caro da ração (Velho et al. 2007, p. 1532). Segundo Mertens (1994, p. 450), os valores mínimos de PB aceitos como limitante do crescimento microbiano para manter a fermentação ruminal são de 7%. Ainda, no presente levantamento os teores observados de proteína bruta apresentaram-se acima do valor de 7% em todos os triênios, indicando o bom aporte de PB da silagem na dieta dos animais.

As médias de valores do ENN variaram de 57,0 a 61,3%. A amplitude de valores encontrada está de acordo com silagens de planta inteira de milho reportadas na literatura, como de 56,7% por Possenti et al. (2005, p. 1185). Já Alfaya et al. (2009, p. 123) trabalhando com duas recomendações de adubação, uma para grãos e outra para silagens, obteve o teor máximo de ENN na silagem de planta inteira de milho quando adubada

Tabela I. Valores médios e erro padrão da composição químico-bromatológica de amostras de silagem de milho, presentes no banco de dados do Instituto de Zootecnia (Mean values and standard error of the chemical-bromatological composition of corn silage samples present in the database of the Instituto de Zootecnia).

Variáveis	Triênio 1	Triênio 2	Triênio 3	Triênio 4
MS105	93,2±1,12	92,4±1,51	93,0±5,94	93,5±1,35
MS55	30,8±7,08	31,3±8,01	44,8±9,67	41,0±10,1
MS	28,8±6,72	29,6±7,58	42,9±8,58	38,4±9,6
PB (% da MS)	12,0±3,68	12,5±4,34	8,8±2,16	10,0±2,72
FB (% da MS)	25,2±3,07	25,9±5,27	22,3±3,86	23,3±5,35
EE (% da MS)	3,5±1,41	2,7±0,83	2,2±0,42	2,2±0,56
ENN (% da MS)	61,3±4,20	57,2±7,59	59,6±4,39	57,0±12,8
MM (% da MS)	5,6±1,27	6,9±2,08	5,8±1,59	6,4±1,6
FDN (% da MS)	57,2±6,53	49,2±12,28	53,8±3,88	53,0±8,1
FDA (% da MS)	35,4±4,88	42,0±17,46	32,2±2,83	30,5±3,8
NFDN (% do N)	14,8±4,20	16,2±1,1	16,6±4,78	11,9±2,01
NFDA (% do N)	8,6±2,69	10,2±0,76	9,8±3,74	8,9±0,99
Cel (% da MS)	28,6±4,21	28,5±5,55	27,9±8,35	26,2±3,46
Lig (% da MS)	5,5±0,89	4,5±1,37	4,0±0,93	3,0±0,80

MS105 - matéria seca a 105 °C; MS55 - matéria seca a 55 °C; MS - matéria seca; PB - proteína bruta; FB - fibra bruta; EE - extrato etéreo; ENN - extrativo não nitrogenado; MM - matéria mineral; FDN - fibra em detergente neutro; FDA - fibra em detergente ácido; NFDN - nitrogênio em FDN; NFDA - nitrogênio em FDA; Cel - celulose; Lig - lignina.

Triênios: 1, 2004 a 2006; 2, 2007 a 2009; 3, 2010 a 2012 e 4, 2013 a 2015.

dos triênios 1, 3 e 4. Triênio 2, Probabilidade > t de 0,0304 para NFDN, 0,0338 para NFDA e 0,0005 para Lig e demais variáveis com P < 0,0001.

Os resultados de PB foram utilizadas para cálculo nas equações de NDT de Kears 1 e 2, e interferem de forma positiva no valor de NDT, apesar de PB não ter sido significativamente correlacionada à estimativa de NDT (**Tabela II**). Os valores de NFDN e NFDA indicam os percentuais de nitrogênio presentes nas frações da parede celular e estiveram negativamente correlacionados aos valores de PB (**Tabela II**).

Os teores médios de extrato etéreo (EE) na silagem estiveram entre 2,2 e 3,5% (**Tabela I**) e encontram-se na faixa de valores observados na literatura, que variam de 2,1 a 3,8% (Pires et al. 2010, p. 391; Khan et al. 2012, p. 36), e que são considerados valores adequados a uma boa silagem de planta inteira de milho. Lavezzo et al. (1997b, p. 675) estudando estágio de desenvolvimento do milho para silagem, encontraram maior concentração de extrato etéreo em plantas com grãos no ponto leitoso e ponto de pamonha quando comparados com grãos no ponto farináceo e semi-duro, respectivamente, novamente reforçando o efeito da maturidade das plantas no momento da colheita, nos parâmetros bromatológicos da forragem.

para grãos, sendo este teor de 64,8%, provavelmente devido à maior proporção de grãos na massa ensilada. Segundo Hall (2003, p. 3226), o ENN corresponde, teoricamente, aos carboidratos não estruturais ou conteúdo celular das forrageiras (amido, açúcares, pectinas, etc.), os quais funcionam como indicativos do valor energético da forragem. Pode ser superestimado, uma vez que na **Tabela II** apresentou correlação não significativa com os valores de NDT calculados no Laboratório.

Os valores médios de FDN variaram de 49,2 a 57,2% (**Tabela I**), sendo que o Triênio 1 apresentou o maior valor, com valores inferiores nos demais Triênios. Esse resultado pode ter ocorrido devido à alteração genética dos híbridos de milho destinados a produção de silagem, buscando aumentar a proporção de nutrientes e redução da fibra e à melhoria na tecnologia empregada na confecção da silagem.

A fração da silagem composta pela parede celular, chamada de fração fibrosa e, normalmente analisada como FDN e composta de celulose, hemicelulose, lignina, alguma contaminação de pectina, proteína e cinzas, é importante para o bom funcionamento do rúmen e

determinante de consumo de alimentos volumosos. Porém, o excesso de fibras limita o consumo desses

processo eficiente a ser usado para diminuir o teor de FDN na silagem é a elevação da altura de corte da

Tabela II. Correlação de Pearson entre as variáveis bromatológicas (Pearson correlation among the bromatological variables).

	MS	PB	EE	ENN	MM	NDT	FDN	FDA	NFDN	NFDA	Cel	Lig
PB	0,47**	-	0,74**	-0,55**	0,30**	NS	-0,44**	-0,35**	-0,61**	-0,68**	-0,49**	NS
EE	-0,20*	0,74**	-	NS	NS	0,25*	-0,37**	-0,18**	-0,43**	-0,52	-0,33**	NS
ENN	NS	-0,55**	NS	-	-0,55**	NS	-0,53**	-0,70**	NS	-0,35**	-0,46**	NS
MM	0,37**	0,30**	NS	-0,55**	-	NS	-0,22**	NS	NS	-0,20*	NS	-0,16*
NDT	NS	NS	0,25*	NS	NS	-	-0,33*	NS	NS	NS	NS	0,02**
FDN	-0,47**	-0,44**	-0,37**	-0,53**	-0,22**	-0,33*	-	0,87**	0,58**	0,55**	0,68**	0,28**
FDA	-0,53**	-0,35**	-0,18**	-0,70**	NS	NS	0,87**	-	0,56**	0,54**	0,71**	0,47**
NFDN	-0,62**	-0,61**	-0,43**	NS	NS	NS	0,58**	0,56**	-	0,79**	0,51**	NS
NFDA	-0,58**	-0,68**	-0,52**	-0,35*	-0,20*	NS	0,55**	0,54**	0,79**	-	0,49**	NS
Cel	-0,59**	-0,49**	-0,33**	-0,46*	NS	NS	0,68**	0,71**	0,51**	0,49**	-	-0,21**
Lig	NS	NS	NS	NS	-0,16*	NS	0,28**	0,47	NS	NS	-0,21**	-

MS - matéria seca; PB - proteína bruta; EE - extrato etéreo; ENN - extrativo não nitrogenado; MM - matéria mineral; NDT - nutrientes digestíveis totais; FDN - fibra em detergente neutro; FDA - fibra em detergente ácido; NFDN - nitrogênio em FDN; NFDA - nitrogênio em FDA; Cel - celulose ; Lig - lignina. *P<0,05 **P<0,01 e NS - não significativo

animais pelo preenchimento físico no rúmen. Considerando o consumo a principal condição para o desempenho animal, a proporção de FDN deve ser limitada nas silagens, bem como apresentar alta digestibilidade (Kramer-Schimid et al. 2016, p. 68).

Qiu et al. (2003, p. 3667) e Fernandez et al. (2004, p. 147) concluíram que dietas contendo silagem de planta inteira de milho com teores de FDN entre 37 e 45% na MS, valores estes abaixo das médias encontradas neste trabalho, oferecidas a vacas de leite e de novilhos de corte, proporcionaram maior ingestão de alimentos em relação às que apresentavam silagem de planta inteira de milho com teores mais altos de FDN e, conseqüentemente melhores desempenhos. Os valores de FDN estiverem positivamente correlacionados com os demais componentes da parede celular (FDA, Cel Lig, NFDN e NFDA) e negativamente correlacionados com os teores de PB (-0,44), EE (-0,37), ENN (0,53) e com NDT (-0,33), apesar do baixo coeficiente de correlação, indicando que os maiores teores de FDN tendem a resultar em menor energia digestível na silagem.

Os resultados apresentados dão indícios de que as plantas de milho foram colhidas com maturação superior aos pontos de colheita ideal, como descritos por Andrade et al. (2001, p. 2268), que avaliaram dois pontos de colheita baseados na linha de leite (1/2 e 1), 50% da linha de leite e linha negra, atingindo um teor de FDN na silagem de 41,9 e 45,7%, respectivamente. Esse fato corrobora a afirmação de Khan et al. (2015, p. 238), onde em trabalho de revisão de 13 artigos, concluem que as maiores variações no valor nutritivo de silagens de planta inteira de milho são atribuídos à diferenças na maturidade da cultura no momento da colheita (Khan et al., 2015, p. 238). Além do ponto de colheita, Restle et al. (2002, p. 1235) sugerem que um

planta de milho, que aumenta a proporção de grãos em detrimento de colmos e folhas senescentes.

Os teores médios de FDA variaram entre 30 e 42% (Tabela I) da MS105 e são um indicativo da digestibilidade do alimento (Wattiaux & Karg 2006, p. 3492), pois é composta de celulose e lignina, sendo constituída da porção menos solúvel da parede celular. Segundo Lavezzo et al. (1997, p. 683), os teores considerados ideais encontram-se no intervalo situado entre de 30,5 a 37,7%, valores próximos aos encontrados no banco de dados do IZ, exceto no Triênio 2, com valores médios de 42,0% (Tabela I). Villela (2001, p. 435) apontou teores de FDA mais baixos na silagem de planta inteira de milho, entre 23,9 e 27,1%, quando as plantas foram colhidas em 50% da linha do leite e linha negra, respectivamente, indicando, assim como para o FDN, o ponto de colheita médio da forragem de milho para as amostras de silagem presentes no banco de dados do IZ corresponderia a um estado de maturidade mais avançado aos apontados por este autor.

A fração FDA também é importante por ser considerada em equações para estimativa de NDT, como as equações de Clemson e de Harlan. Apesar desse fato, não apresentou correlação significativa com NDT (Tabela II), provavelmente porque o NDT calculado pelo Laboratório de Nutrição Animal usou a equação de Kearnl 1 para suas estimativas e, nesta equação, não há fracionamento da fibra, sendo utilizada a fibra bruta (FB). Dessa forma, não há como estabelecer essa correlação de parte da fibra em relação aos resultados de NDT.

O manejo da colheita também afeta os teores de FDA. Hutjens (2000) identificou que para cada 15 cm na elevação da altura de corte do milho, é esperado redução de 1% no teor de FDA do material colhido.

Assim, tem se buscado silagens com menores teores de fibra e com fibras de alta digestibilidade. No entanto, algumas pesquisas com genótipos de milho com teores excessivamente baixos de fibra, têm gerado problemas com acamamentos, sobretudo em regiões de ventos constantes.

Segundo van Soest (1994, p. 476), altos teores de NFDN podem ser explicados pela possível complexação do tanino dos grãos com a proteína. Segundo Rodrigues et al. (2002, p. 1127), teores de NFDA possuem nível de referência de 8% do N total como limite para indicar superaquecimento dos alimentos. Contudo, uma silagem bem preparada de milho possui NFDA abaixo de 12% (Roth & Undersanders 1995, p. 27), o que indica um processamento adequado durante o processo de ensilagem. Segundo van Soest (1994, p. 476), a proteína reage com os carboidratos da planta, passando a fazer parte da fração FDA, sendo este processo denominado de Reação de Maillard, aumentando assim o NFDA da silagem. Valores acima de 8% NFDA observados nas amostras do banco de dados do IZ, podem ter sido ocasionados por aquecimento da silagem durante o processo de conservação. Amostras de silagens obtidas na superfície tiveram menor teor de NFDA que aquelas obtidas a média profundidade (Rodrigues et al. 2002, p. 1127), indicando efeitos do aquecimento no interior do silo. Ressalta-se ainda que a alta concentração de NFDA seja inerente a forrageiras cultivadas em clima tropical.

O teor de NFDA variou de 8,6 a 10,2% do nitrogênio total, enquanto que as de NFDN variaram de 11,9% a 16,6% do nitrogênio total (**Tabela I**). Segundo Van Soest (1994, p. 476), o NFDN é digestível, porém de lenta degradação no rúmen, enquanto o NFDA é praticamente indigestível e geralmente esta associado à lignina e a outros compostos de difícil degradação.

A média da celulose variou entre 26,2 e 28,6% (**Tabela I**), valores pouco acima da faixa de teores mais comumente encontrados em silagens de boa qualidade, que variam entre 25,5 a 27,0% de celulose na MS. Posenti et al. (2005, p. 1185) obtiveram valores médios de 27% de celulose em silagem de planta inteira de milho, valores similares aos do banco de dados.

Os teores médios de lignina entre 3,0 e 5,5 % (**Tabela I**) ficaram abaixo dos encontrados por Rosa et al. (2004, p. 302), cujo valores estiveram entre 4,79 a 5,96% da MS, avaliando três híbridos. O teor de lignina da forragem é importante de ser caracterizado, pois relaciona-se inversamente com a digestibilidade dos alimentos. O teor de lignina na forragem varia com a maturidade da planta, pois quanto mais avançada a idade da planta, mais lignificada ela será. A quantidade de folhas em relação ao colmo também tem influência, pois se sabe que as folhas apresentam uma menor concentração de FDA e lignina, quando comparados ao colmo (Van Soest 1994, p. 476). Segundo Caballero et al. (2001, p.1006) a fração indisponível (C) depende do teor de lignina e o aumento desta fração promove redução da fração potencialmente degradável (B2).

Houve variação nos valores de NDT calculados nos diferentes modelos (**Tabela III**), bem como interação entre modelo e triênio, mostrando um padrão de va-

riação inconstante com valores maiores ou menores, conforme o triênio dentre de um mesmo modelo. A maior variação ocorreu no modelo de Kearn 1, seguido de Harlan, enquanto os modelos de Kearn 2 e Clemson demonstraram baixa variação de resultados de NDT. Os resultados mostram que não basta a fórmula utilizar a mesmas variáveis, mas os coeficientes atuam alterando o impacto de cada componente no valor final do NDT. Tanto os modelos de Clemson, quanto o de Harlan, são baseados no cálculo de apenas um componente químico, o FDA, o que torna essas equações mais simplistas. Nesse contexto, seria esperado que os resultados de NDT variassem de forma semelhante em ambas as equações. Da mesma forma, dentre as equações propostas por Kearn (1982, p. 381), ambas utilizam as mesmas variáveis, mas a equação Kearn 1 foi a que demonstrou maior variação no NDT nos triênios.

A estimativa do NDT é um das metodologias mais empregadas na tentativa de expressar o valor energético da forragem, e primeiramente foi calculado com a soma das frações digestíveis dos alimentos, de acordo com a análise de Weende. Porém, essa abordagem apresenta algumas limitações, tais como considerar apenas perdas digestivas de alimentos, incorporar imperfeições na análise proximal (Weende), superestimar alimentos fibrosos e subestimar concentrados, podendo colocar parte da lignina e hemicelulose solubilizadas como parte do ENN, dentre outros. O NDT é estimado em experimentos onde são pesados e analisados todo o alimento consumido e todas as fezes, pela análise de Weende.

Para facilitar seu uso, o NDT pode ser estimado por meio de equações que facilitam o processo, porém tem baixa acurácia, pois são bastante dependentes da adequação do alimento aos componentes da equação. Neste contexto, Kearn (1982, p. 381) desenvolveu cinco equações conforme o tipo de alimento: a) Feno, palha e resíduos fibrosos secos, b) Pastagens e forragens frescas, c) Silagens e volumosos, d) Alimentos energéticos e e) Suplementos protéicos. Duas delas, a equação b) e c) estão sendo avaliadas no presente trabalho com a denominação de Kearn 1 e Kearn 2, respectivamente.

Variáveis na obtenção da silagem, considerando corte e processamento da cultura de milho, cultivares podem impactar no valor de NDT obtido com a silagem. Caetano (2001) verificou que a elevação da altura de corte do milho melhorou a qualidade da forragem, em decorrência da redução da participação das frações colmo e folhas, havendo como consequência a redução dos componentes da parede celular e aumento nas proporções de grãos, o que determinou o aumento nos valores de NDT. Tedeschi et al. (2002, p. 1) obtiveram valores médios de NDT de 65,4% para silagens de planta inteira de milho produzidas no Brasil. Velho et al. (2007, p. 1532) encontraram valores próximos, quando compararam níveis altos e médios de compactação no silo, com cerca de 69% de NDT. Costa et al. (2000, p. 835) analisando silagens de planta inteira de milho com diferentes porcentagens de espigas potencialmente comercializáveis, observou que as plantas 100% inteiras continham maior NDT, devido à proporção de grãos, os quais possuem maior concentração de energia em relação à fração volumosa.

Tabela III. Valores médios dos nutrientes digestíveis totais avaliados por diferentes modelos de equações nos triênios analisados (Mean values of the total digestible nutrients evaluated by the different models of equations in the analyzed triennia).

Modelos	Triênios				P-valor		
	1	2	3	4	Mod.	Trien.	Int.
	NDT, % *						
Kearl 1 (1982)	63,3±0,45 Bb	54,3±1,64 Cc	63,8±0,59ABb	65,4±0,57 Aab	< 0,0001	< 0,0001	0,0034
Kearl 2 (1982)	66,5±1,64Aab	65,8±1,24Aa	66,9±0,72Aa	66,2±0,95 Aa			
Clemson University (USA) Harlan et al. (1991)	63,3±1,64Aab	63,4±1,24Aab	63,1±0,71Ab	63,2±0,95 Ab			
	65,6±0,45Aa	59,2±1,64 Bb	65,9±0,59Aa	67,0±0,57 Aa			

a, b, c: médias seguidas de letras diferentes, minúsculas, sobrescritas nas colunas foram significativas a $P < 0,05$ pelo teste Tukey. A, B, C: médias seguidas de letras diferentes, maiúsculas, sobrescritas nas linhas foram significativas a $P < 0,05$ pelo teste Tukey. * Mean values original, but data transformed for the purpose of statistical analysis (Y variable): $NDT = Y^2$. Mod. = modelo de equações de estimativa dos nutrientes digestíveis totais (NDT). Int.= efeito interação, Trien. = triênios, 1: 2004-2006, 2: 2007-2009, 3: 2010-2012 e 4: 2013- 2015, EPM = erro padrão da média, P-valor = probability.

De modo geral, o último triênio apresentou médias superiores para NDT e menores para FDN, FDA, NFDN, NFDA e medianos de PB, possivelmente pelo uso de novos cultivares de milho, colheita da planta no momento correto e avanço nas técnicas de ensilagem, armazenamento e desensilagem.

CONCLUSÃO

Houve aumento no valor nutritivo das silagens enviadas ao Laboratório ao longo dos anos. As quatro equações podem ser utilizadas para estimar os valores de NDT em silagens de planta inteira de milho, sendo as equações de Kearl 1 e Harlan mostraram maior sensibilidade em detectar variações nos resultados de NDT em relação às demais.

AGRADECIMENTOS

À Dra. Rosana Aparecida Possenti e ao Laboratório de Nutrição Animal do Instituto de Zootecnia e sua equipe pela disponibilização dos dados e auxílio.

BIBLIOGRAFIA

Alfaya, H, Santos, L.A, Raupp, A.A.A, Lüder, W.E, Rodrigues, R.C, & Reis, J.C.L 2009, 'Avaliação de silagens elaboradas com milho produzido sob dois níveis de adubação: II qualidade', *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, vol. 15, pp.123-133.

Andrade, J.G, Hunt, C.W, & Pritchard, G.T 2001, 'Effect of hybrid, maturity and mechanical processing of corn silage on intake and digestibility by beef cattle', *Journal of Animal Science*, vol.79, pp.2268-2275.

Beegle, D.B, Carton, O.T, & Bailey, J.S 2000, 'Nutrient management planning: justification, theory, practice', *Journal of Environmental Quality*, vol.29, pp.72-79.

Caballero, R, Alzueta, C, Ortiz, L.T, Rodríguez, M. L, Barro, C, & Rebolé, A 2001, 'Carbohydrate and protein fractions of fresh and dried Common Vetch at three maturity stages', *Agronomy Journal*, vol.93, pp.1006-1013.

Caetano, H 2001, 'Avaliação de onze cultivares de milho colhidos em duas alturas de corte para produção de silagem', 178p, Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

Costa, C, Creste, C.R, Arrigoni, M.D.B, Silveira, A. C, de Magalhães Rosa, G. J, & Bicudo, S. J 200, 'Potencial para ensilagem, composição

química e qualidade da silagem de milho com diferentes proporções de espigas', *Acta Scientiarum*, vol.22, n.3, pp.835-841.

Cruz, J. C 1998, 'Cultivares de milho para ensilagem', In: CONGRESSO NACIONAL DOS ESTUDANTES DE ZOOTECNIA, 1998, Viçosa, MG. *Resumos...Viçosa: UFV*. pp.93-114.

Fernandez, I, Nozière, P, & Michalet-Doreau, B 2004, 'Site and extent of starch digestion of whole-plant maize silages differing in maturity stage and chop length, in dairy cows', *Livestock Production Science*, vol.89, p.147-157.

Ferraretto, L. F, Shaver, R. D, & Luck, B. D 2018, 'Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionates corn silage harvesting', *Journal of Dairy Science*, vol.101, pp.3937-3951.

Hall, M. B 2003, 'Challenges with nonfiber carbohydrate methods 1 2', *Journal of animal science*, vol. 81, n. 12, pp. 3226-3232.

Harlan, D. W, Holter, J.B, & Hayes, H.H 1991, 'Detergent fiber traits to predict productive energy of forages fed free choice to nonlactating dairy cattle', *Journal of Dairy Science*, vol.74, pp.1337-1353. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78289-1](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78289-1)

Hutjens, M 2018, "Selecting corn silage varieties." 2000. Disponível em: <<http://livestocktrail.illinois.edu/dairynet/paperDisplay.cfm?ContentID=577>>. Acesso em: 24 jul. 2018.

Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística 2015, *Censo agropecuário 2015*. Rio de Janeiro, Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaogropecuaria/default.shtm#animal>. Acesso em: 17 out. 2015.

Jaremtchuk, A.R, Jaremtchuk, C.C, Baglioli, B, Medrado, M.T, Kozłowski, L.A, Costa, C, & Madeirah, M.F 2005, 'Características agrônômicas e bromatológicas de vinte genótipos de milho (Zea mays L.) para silagem na região leste paranaense', *Acta Scientiarum. Animal Science*, Maringá, vol. 27, n. 2, pp.181-188.

Kramer-Schimid, M, Lund, P, & Wisbjerg, M.R 2016, 'Importance of NDF digestibility of whole crop maize silage for dry matter intake and milk production in dairy cows', *Animal Feed Science and Technology*, vol.219, pp.68-76. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.06.007>

Kearl, L.C 1982, 'Nutrient requirements of ruminants in developing countries', Logan, Utah: International Feedstuffs Institute, Utah State University, 381p.

Khan, N.A, Cone, J.W, Fievez, V, & Hendriks, W.H 2012, 'Causes of variation in fatty acid content and composition in grass and maize silages', *Animal Feed Science and Technology*, vol.174, pp.36- 45.

Khan, N.A, Yu, P, Ali, M, Cone, J. W, & Hendriks, W. H 2015, 'Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality', *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol.95, pp. 238-252.

Lavezzo, O.E.N.M, Lavezzo, W., & Siqueira, E.R 1997, 'Estádio de desenvolvimento do milho e efeito sobre o consumo e a digestibilidade

- de da silagem em ovinos', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol.26, pp.683- 690.
- Lavezzo, W, Lavezzo, Oenm, & Neto, O. C 1997b, 'Estádio de Desenvolvimento do Milho. 1. Efeito sobre a Produção, Composição da Planta e Qualidade da Silagem', *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, vol. 26, n. 4, pp. 675-682.
- Medeiros, S.R, & Albertini, T.Z 2015, 'Partição de energia e sua determinação na nutrição de bovinos de corte'. In: Medeiros, S.R., Gomes, R.C., Bungenstab, D.J. (Eds.). *Nutrição de Bovinos de Corte: Fundamentos e aplicações*, Brasília, DF, EMBRAPA, 176p.
- Mertens, D.R 1994, 'Regulation of forage intake'. In: FAHEY JR., G.C. (Ed.) *Forage quality, evaluation and utilization*, Winsconsin: American Society of Agronomy, pp.450-493.
- NRC 1996 (2000 update). *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th ed, Washington, DC.
- Nussio, L. G 1991, 'Cultura de milho para produção de silagem de alto valor alimentício', In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 4., 1991, Piracicaba. *Resumos...* Piracicaba: FEALQ, pp.59-168.
- Oliveira, L. B. D, Pires, A. J. V. U, Carvalho, G. G. P. D, Ribeiro, L. S. O. U, Almeida, V. V. D, & Peixoto, C. A. D. M. U 2010, 'Perdas e valor nutritivo de silagens de milho, sorgo Sudão, sorgo forrageiro e girassol', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol.39, n.1, pp.61-67.
- Pires, A.V.J, Reis, R.A, Carvalho, G.G.P, Siqueira, G.R, Bernardes, T.F, Ruggieri, A.C, & Roth, M.T.P 2010, 'Degradabilidade ruminal da matéria seca, da proteína bruta e da fração fibrosa de silagens de milho, de sorgo e de *Brachiaria brizantha*', *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, vol.62, pp.391-400.
- Possenti, R.A, Ferrari Jr, E, & Bueno, M.S 2005, 'Parâmetros bromatológicos e fermentativos das silagens de milho e girassol', *Ciência Rural*, vol.35, pp.1185-1189.
- Qiu, X, Eastridge, M.L, & Wang, Z 2003, 'Effects of corn silage hybrid and dietary concentration of forage NDF on digestibility and performance by dairy cows', *Journal of Dairy Science*, vol.86, pp.3667-3674.
- Restle, J, Neumann, M, & Brondani, I.L 2002, 'Manipulação da altura de corte da planta de milho (*Zea mays*, L.) para ensilagem visando a produção do novilho superprecoce', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol.31, pp.1235-1244.
- Rodrigues, P. H. M, De Gouvêa Pedroso, S. B, Melotti, L, De Andrade, S. J. T, & De Lima, F. R 2002, 'Estudo comparativo de diferentes tipos de silos sobre a composição bromatológica e perfil fermentativo da silagem de milho', *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, vol.24, pp.1127-1132.
- Rosa, J.R.P, Silva, J.H.S, Restle, Z, Pascoal, L.L., Brondani, I.L, Alves, Filho, D.C, & Freitas, A.K 2004, 'Avaliação do comportamento agrônomo da planta e valor nutritivo da silagem de diferentes híbridos de milho (*Zea mays* L)', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol.33, pp.302-312.
- Roth, G., & Undersanders, D 1995, *Silage additives. Corn silage production management and feeding*. Madison: ASA, pp.27-29.
- Tedeschi, L. O, Fox, D. G, Pell, A. N, Lanna, D. P. D, & Boin, C 2002, 'Development and evaluation of tropical feed library for The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model', *Scientia Agricola*, vol.59, n.1, pp.1-18.
- Valadares Filho, S.C, Rocha Jr, V.R, & Cappelle, E.R 2002, *Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa.
- van Soest, P.J 1965, 'Factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility', *Journal of Animal Science*, vol.24 pp.834-43.
- van Soest, P.J, Robertson J.B, & Lewis, B.A 1991, 'Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition', *Journal Dairy Science*, vol.74, pp. 3583-3597.
- van Soest, P.J 1994, *Nutritional ecology of the ruminant*, 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, 476p.
- Velho, J.P, Muhlbach, P.R.F, Nornberg, J.L, Velho, I.M.P.H, Genro, T.C.M, & Kessler, J.D 2007, 'Composição bromatológica de silagens de milho produzidas com diferentes densidades de compactação', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol.36, n.5, pp.1532-1538.
- Vilela, D, Ferreira, R. P, Fernandes, E. N, & Juntolli, F. V 2016, *Pecuária de leite no Brasil: Cenários e avanços tecnológicos*. EMBRAPA, 435p.
- Villela, T.E.A 2001, *Época de semeadura e de corte de plantas de milho para silagem*. 80p.Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Wattiaux, M. A, & Karg, K 2006, 'Protein level for alfalfa and corn silage based diets'. II. Nitrogen balance and manure characteristics. *Journal of Dairy Science*, vol.87, pp.3492-3502.