



Efeitos de absorventes de umidade e de aditivos químicos e microbianos sobre o valor nutritivo, o perfil fermentativo e as perdas em silagens de capim-marandu¹

José Leonardo Ribeiro², Luiz Gustavo Nussio³, Gerson Barreto Mourão⁴, Oscar Cezar Muller Queiroz², Mateus Castilho Santos², Patrick Schmidt⁵

¹ Pesquisa financiada pela FAPESP.

² Programa de Pós-Graduação da USP/ESALQ.

³ Departamento de Zootecnia da USP/ESALQ.

⁴ Departamento de Ciências Exatas da USP/ESALQ.

⁵ Curso de Agronomia da UNESP/Registro.

RESUMO - Objetivou-se avaliar o valor nutritivo, o perfil fermentativo e as perdas de silagens de capim-marandu submetidas aos efeitos de absorventes de umidade e aditivos. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3×5 , com três teores de matéria seca (obtidos com adição de polpa cítrica (PCP) ou casca de soja (CSP), ambas peletizadas, em comparação à ausência de aditivos) e cinco aditivos (ausência ou presença de inoculante bacteriano, benzoato de sódio ou ácido fórmico 62% ou 44%). O arranjo resultou em 15 silagens, com 4 repetições, portanto 60 silos experimentais. Avaliaram-se o valor nutritivo, as perdas por gases e efluente e a recuperação de matéria seca (MS). A adição de polpa cítrica ou casca de soja peletizada elevou os teores de MS (29,4 e 28,9%), o que reduziu a produção de efluente (4,1 e 3,8 kg/t MV) e disponibilizou substratos fermentescíveis aos microrganismos, fato confirmado pela maior capacidade fermentativa e pela digestibilidade das silagens. Os aditivos à base de ácido fórmico foram mais efetivos em preservar carboidratos solúveis e proteína, o que culminou em maior digestibilidade. Esses aditivos também reduziram as perdas por gases e elevaram a recuperação de MS. O inoculante contendo bactérias homoláticas não diferiu desses aditivos quanto à digestibilidade das silagens e ainda reduziu as perdas por gases. Entre os aditivos, o benzoato foi o menos efetivo em alterar o padrão fermentativo das silagens de capim-marandu. O valor nutritivo e as perdas da silagem com teor de umidade original, não aditivada, podem ser considerados satisfatórios, contudo, a polpa cítrica e principalmente a casca de soja peletizadas se mostraram opção interessante e devem ser mais estudadas. O uso de aditivos contendo ácido fórmico também deve ser mais explorado com gramíneas tropicais, pois promove benefícios ao longo de todo processo fermentativo.

Palavras-chave: ácido fórmico, ácido láctico, benzoato de sódio, efluente, formato de amônio, gases

Effect of moisture absorbents, chemical and microbial additives on the nutritional value, fermentative profile and losses of *Brachiaria brizantha* cv. Palisadegrass silages

ABSTRACT - The objective of this trial was to evaluate the nutritional value, fermentation profile and dry matter losses of Palisadegrass silages ensiled with either dried citrus pulp, soybean hulls, chemical or microbial additives. The trial was carried out in a completely randomized experimental design and in a factorial arrangement (3×5), with three dry matter levels (wet forage or forage ensiled with pelleted citrus pulp or pelleted soybean hulls) and five additives (without or with the presence of bacterial inoculants or the addition of: sodium benzoate, formic acid in the concentration of 62% or 44%), totalizing 15 treatments and 60 experimental silos. The variables analyzed were: nutritional value, losses due to gases and effluents, and dry matter recovery. The use of dried citrus pulp or soybean hulls at the ensiling time increased the dry matter content (29.4 and 28.9%) and decreased the effluent production (4.1 and 3.8 kg/t of fresh matter), also providing fermentable substrate to microorganisms, resulting in increased fermentation coefficient and digestibility of silages. The use of formic acid resulted in silages with higher digestibility and increased water-soluble carbohydrates and crude protein content. This additive was also effective in reducing the losses due to gases and, as a result, increased the total dry matter recovery. The treatment containing homolactic bacteria showed similar trend of increasing the digestibility and reducing the losses due to gases. The use of sodium benzoate was less effective in altering the fermentation pattern of tropical silages. The nutritional value and total dry matter losses of silages ensiled without additives can be considered satisfactory. However, wet forage ensiled with dried citrus pulp and, mainly, with soybean hulls showed the best results. Treatments containing formic acid had a beneficial effect on the fermentation profile of tropical grass silages.

Key Words: ammonium formate, effluent, formic acid, gases, lactic acid, sodium benzoate

Introdução

A estacionalidade da produção de forragem torna sua conservação necessária, visto que a escassez de alimento no inverno contribui para variação intra-anual do preço da carne bovina. A conservação, no entanto, resulta em desaparecimento de energia e matéria seca (MS). Perdas decorrentes de fermentação secundária, do efluente produzido e de deteriorações aeróbias podem variar de 7 a 40% (McDonald et al., 1991), todavia, o uso de aditivos na ensilagem de gramíneas tropicais pode contornar essas limitações, decorrentes do alto teor de umidade, do baixo teor de carboidratos solúveis e do elevado poder tampão. Segundo Woolford (1984), esses fatores inibem a ocorrência de um processo fermentativo adequado e dificultam a confecção de silagens de qualidade. Para reduzir essas perdas, inúmeros tratamentos têm sido adotados e precisam ser avaliados quanto à eficiência.

Como absorvente de umidade, a polpa cítrica peletizada é um importante aditivo, pois, em contato com forragens úmidas, pode elevar seu peso em até 145%, preservando nutrientes que seriam perdidos pela fermentação secundária. O valor de nutrientes digestíveis totais (NDT) da polpa cítrica para ruminantes é similar ao dos grãos, entre 83 e 88% (Ashbell, 1992). Bergamaschine et al. (2006) observaram melhora qualitativa de silagens com a inclusão de polpa. A casca de soja, estudada visando à substituição de ingredientes concentrados, apresenta em média 80,0% de NDT (NRC, 1996) e digestibilidade *in vitro* de 95,7% da parede celular (Zambom et al., 2001), o que indica que esse subproduto pode ser excelente absorvente de umidade.

Estudando a utilização de inoculantes, Sollenberger et al. (2003) verificaram respostas positivas das bactérias lácticas em silagens de gramíneas tropicais com altos teores de carboidratos. Entretanto, respostas inconsistentes destes inoculantes tornam os inibidores de fermentação uma opção; aditivos à base de ácido fórmico e formato de amônio têm ação bactericida seletora e preservam nutrientes por aumentarem a pressão osmótica. Siebald et al. (2003) verificaram maior digestibilidade de silagens aditivadas e atribuíram o resultado ao melhor processo fermentativo. Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos de aditivos, inoculante e absorventes de umidade, sobre o valor nutritivo e as perdas de silagens de capim-marandu.

Material e Métodos

O experimento foi realizado no Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP/ESALQ), em Piracicaba, São Paulo. A

Brachiaria brizantha cv. Marandu, estabelecida em área localizada nas coordenadas geográficas de 22° 42' de latitude sul, 47° 38' de longitude oeste e altitude de 546 m, foi colhida em abril de 2006 com 54 dias de crescimento vegetativo. A colheita foi realizada por uma forrageira (área total de 2 m de largura) com conjuntos de facas e contrafacas afiados objetivando redução no tamanho médio de partículas.

Após o corte, o capim-marandu foi transportado para o local de produção das silagens. O capim com teor de umidade original originou cinco silagens (controle; com bactérias acidoláticas; com benzoato de sódio; ou com 62 ou 44% de ácido fórmico). Cada absorvente de umidade deu origem a cinco silagens, que diferiram das anteriores pela adição de 10% de polpa cítrica ou casca de soja peletizada à forragem, com base na forragem fresca.

O capim-marandu com teor de umidade original ou acrescido de polpa cítrica ou casca de soja recebeu cinco tratamentos: ausência de aditivo (controle); inoculante bacteriano (INOC); 0,1% benzoato de sódio, em percentual da forragem fresca, diluída em água deionizada (BENZ); e dois aditivos com duas doses de ácido fórmico e formato de amônio (AF62 e AF44). O inoculante, produzido pela Lallemand®, foi diluído em água destilada para fornecer *Lactobacillus plantarum* ($1,0 \times 10^5$ ufc viáveis/g de forragem fresca) e *Pediococcus acidilactici* ($3,0 \times 10^4$ ufc viáveis/g de forragem fresca), tendo lactose como veículo. Os aditivos comercializados na forma líquida foram o Kemisile® 3 Plus (AF62- com 62% de ácido fórmico, 24% de formato de amônio e 14% de água) e o Kemisile® 2000 Plus (AF44- com 44% de ácido fórmico, 30% de formato de amônio, 9% de ácido propiônico, 2% de ácido benzóico e 15% de água). Esses dois aditivos foram aplicados na dose de 5 L/t de forragem fresca, conforme recomendação do fabricante. Todos os aditivos foram aplicados utilizando-se pulverizadores manuais com capacidade de 500 mL.

Após a homogeneização da forragem tratada, realizou-se o enchimento dos silos experimentais de 20 L (baldes de plástico), providos de tampas com válvula do tipo “Bunsen” para escape dos gases. No fundo dos silos, foram adicionados 3 kg de areia para drenagem do efluente, bem como tela fina de plástico e um pano de algodão para evitar o contato da forragem com a areia.

Todos os componentes do balde, assim como a forragem acondicionada, foram pesados para determinação das perdas fermentativas. Após 83 dias, no momento da abertura, foram realizadas novas pesagens para mensuração das perdas por gases (Schmidt, 2006), da produção de efluente e da recuperação de MS. Para evitar erro, a amostragem foi feita retirando-se toda a silagem em pontos

específicos ao longo do comprimento do balde, que foi acondicionada em saco plástico de 100 L. Após homogeneização, procedeu-se à coleta e ao armazenamento das amostras em congelador (-5°C).

Uma amostra de aproximadamente 300 g de forragem de cada tratamento, no momento da ensilagem, e 60 amostras das silagens foram mantidas em estufa de circulação forçada de ar (55°C) durante 72 horas para determinação do teor de MS (Silva, 1981). Após pesagem, as amostras foram trituradas em moinho tipo Willey provido de peneira com orifício de 1 mm de diâmetro.

Os teores de proteína bruta (PB), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e de fibra em detergente ácido (FDA) e o coeficiente de digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO) (Tabela 1) foram determinados pelo método de espectroscopia de reflectância de infravermelho proximal (NIRS) (Berzaghi et al., 1997), em espectrômetro modelo NIRS 5000 (NIRSystems®, Silver Spring, MD, USA). Após seleção do NIRS, as amostras foram submetidas à química líquida convencional. O teor de PB foi determinado em auto-analisador de nitrogênio da marca LECO®, modelo FP-528 (Leco Corporation, Michigan, USA) e os teores de FDN e FDA foram obtidos pelo método sequencial proposto pela ANKOM® Fiber Analyser (ANKOM Technology Corporation, Fairport, NY) e descrito por Holden (1999), com adição de sulfato de sódio. O mesmo protocolo foi utilizado na obtenção da DIVMO.

A obtenção do extrato aquoso das silagens e a mensuração do pH em potenciômetro digital (DIGMED® - DM20) foram feitas segundo metodologia proposta por Kung Jr. et al. (1984). O poder tampão (PT) foi obtido nas amostras de forragem conforme protocolo descrito por Playne & McDonald (1966). A condutividade elétrica da forragem foi mensurada em condutivímetro da marca Digimed®, modelo CD-20, segundo metodologia descrita por Kraus et al. (1997).

A partir dos extratos foram determinados os teores de carboidratos solúveis (CS) (Dubois et al., 1956) e nitrogênio amoniacal (N-NH₃) (Chaney & Marbach, 1962) das silagens em colorímetro – Elisa Reader, calibrado para absorvância de 490 nm (CHO) e 550 nm (N-NH₃). Os teores de ácido láctico foram determinados pela metodologia adaptada de Pryce (1969) efetuando-se as leituras de absorvância em espectrofotômetro, modelo 6405 UV/Vis., da marca Jenway®, calibrado para comprimento de onda de 565 nm.

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado disposto em arranjo fatorial 3 × 5, composto de três teores de umidade e cinco aditivos), o que resultou em 15 tipos de silagem, com quatro repetições, totalizando 60 unidades experimentais. Todas as variáveis foram analisadas pelo procedimento GLM do programa estatístico SAS, versão 8.02 para Windows® (SAS, 2001). Para efeito de comparação de médias, foi utilizado o teste Tukey, com nível de significância de 5%.

Tabela 1 - Valor nutritivo e características físicas das silagens de capim-marandu

| Aditivo | MS | PB | CS | FDN | FDA | DIVMO | pH | PT | CE |
|--------------------------|------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|
| | % | | % MS | | | % | | | |
| Umidade original | | | | | | | | | |
| Controle | 25,4 | 7,4 | 2,8 | 59,0 | 34,3 | 60,1 | 6,06 | 15,1 | 0,83 |
| INOC | 24,8 | 7,9 | 2,4 | 68,7 | 39,6 | 55,9 | 6,08 | 16,6 | 0,79 |
| BENZ | 24,2 | 8,1 | 2,6 | 71,4 | 41,4 | 55,5 | 6,04 | 19,3 | 0,91 |
| AF62 | 24,4 | 8,6 | 2,7 | 67,9 | 37,8 | 57,9 | 4,05 | 34,4 | 1,43 |
| AF44 | 25,6 | 9,4 | 3,3 | 67,0 | 36,2 | 59,4 | 4,66 | 29,4 | 1,23 |
| Polpa cítrica peletizada | | | | | | | | | |
| Controle | 36,4 | 7,6 | 3,5 | 57,4 | 33,9 | 60,8 | 5,95 | 13,3 | 0,98 |
| INOC | 29,9 | 7,9 | - | 63,5 | 37,5 | 57,5 | 5,74 | 17,9 | 0,85 |
| BENZ | 29,0 | 7,8 | 2,5 | 67,8 | 39,2 | 57,6 | 6,02 | 19,4 | 0,97 |
| AF62 | 28,9 | 9,0 | 2,4 | 65,2 | 35,5 | 59,8 | 4,34 | 25,2 | 1,34 |
| AF44 | 30,0 | 8,5 | 4,6 | 64,3 | 36,1 | 59,0 | 4,32 | 27,4 | 1,21 |
| Casca de soja peletizada | | | | | | | | | |
| Controle | 33,3 | 6,8 | 1,3 | 61,4 | 36,5 | 61,1 | 6,06 | 16,3 | 0,98 |
| INOC | 29,8 | 7,1 | 1,7 | 63,0 | 37,6 | 60,7 | 6,00 | 17,8 | 0,82 |
| BENZ | 32,8 | 6,7 | 2,0 | 62,9 | 37,8 | 61,9 | 6,04 | 15,3 | 0,98 |
| AF62 | 28,1 | 8,0 | 2,6 | 63,1 | 34,9 | 59,9 | 4,39 | 25,6 | 1,35 |
| AF44 | 31,0 | 7,6 | 2,2 | 61,4 | 35,7 | 61,0 | 4,57 | 30,7 | 1,21 |

INOC = inoculante bacteriano; BENZ = benzoato de sódio; AF62 = ácido fórmico 62%; AF44 = ácido fórmico 44%; CS = carboidratos solúveis; DIVMO = digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica; PT = poder tampão (mEquivalente 100 g/MS); CE = condutividade elétrica (mS/cm).

Resultados e Discussão

O teor de matéria seca da silagem com teor de umidade original, não-aditivada (23,5%), foi 8,1% inferior ao da forragem fresca (25,4%) (Tabela 2). Esta diferença está relacionada à respiração celular, na qual há liberação de CO_2 e H_2O . Segundo Rotz & Muck (1994), esse processo se inicia após o corte da forragem e perdura até o fechamento dos silos.

As silagens com teor de umidade original apresentaram em média 24,2% de MS, diferindo daquelas com polpa cítrica (29,4%) e casca de soja peletizada (28,9%), com valores semelhantes aos descritos por Bergamaschine et al. (2006), em silagens de capim-marandu controle (24,7% de MS) ou acrescidas de 10% de polpa cítrica (29,1% de MS). Da mesma forma, Tomich et al. (2006) observaram aumento de 12,2% no teor de MS de silagens de capim-elefante acrescidas de 10% de casca de soja (40,5%). Neste experimento, a polpa cítrica e a casca de soja apresentaram mesmo teor de MS (93%), que deveria ter aumentado quando esses aditivos foram acrescidos à forragem com teor 24,5% de MS.

Os aditivos AF62 e AF44 propiciaram aumento dos teores médios de MS das silagens (Tabela 3), que diferiram dos obtidos na silagem controle, situação oposta à das silagens com benzoato, cujo teor médio de MS não diferiu do observado na silagem controle. Nesta pesquisa, a aplicação desses aditivos reduziu as perdas por gases (Tabela 3), semelhante ao observado por Nsereké & Rooke (2000), que aplicaram ácido fórmico em azevém-perene (*Lolium perene*) e verificaram aumento no teor de MS da silagem (de 13,8 para 16,6%), como resultado de menores perdas fermentativas.

Com exceção da silagem controle acrescida de casca de soja, as demais silagens mantiveram o teor mínimo de 7% PB (Tabela 4), necessário para suprimento das perdas endógenas desta fração em ruminantes. A comparação entre os teores médios de PB das silagens com teor de umidade original (8,7%) ao daquelas com polpa cítrica (7,6%) ou casca de soja (7,4%), com seus respectivos aditivos químicos, no momento da ensilagem (8,3; 8,2 e 7,2% de PB - Tabela 1) caracterizou pequena alteração da fração protéica, uma vez que apenas nas silagens acrescidas de polpa cítrica foi observada redução de 7,9% no teor de PB. De acordo com Rotz & Muck (1994), teores de MS próximos de 30% exercem controle efetivo no crescimento de bactérias do gênero *Clostridium*, valores próximos dos obtidos nas silagens contendo polpa cítrica ou casca de soja. No entanto, as proteases epifíticas são efetivas em hidrolisar peptídeos, o que poderia justificar a diferença dos teores de PB entre as silagens.

A hidrólise das ligações peptídicas, iniciada a partir da colheita da forragem, é restringida quando o material ensilado apresenta alto teor de MS ou baixo valor de pH, visto que os clostrídios proteolíticos não são osmotolerantes e sua atividade é controlada em baixos valores de pH. Portanto, a restrição da proteólise, confirmada pelos baixos teores de N-NH_3 das silagens (Tabela 4), sugere ter havido rápido declínio do pH.

Com exceção das silagens acrescidas de polpa cítrica, que não tiveram influência dos aditivos, as demais, com os aditivos químicos e o inoculante, apresentaram aumentou ou mantiveram a fração protéica. Nos aditivos AF62 e AF44, a maior preservação seria explicada pela menor ocorrência de proteólise e deaminação, decorrente do controle de microrganismos indesejáveis (McDonald et al., 1991). O

Tabela 2 - Estatística descritiva de silagens de capim-marandu

| Variável ¹ | Média | CV % | Valor | | Efeito ² | | Umidade × Aditivo |
|----------------------------------|-------|------|--------|--------|---------------------|---------|-------------------|
| | | | Mínimo | Máximo | Umidade | Aditivo | |
| Matéria seca, % | 27,5 | 2,8 | 23,5 | 31,0 | * | * | ns |
| Fibra em detergente neutro, % MS | 64,7 | 2,2 | 61,1 | 68,0 | * | * | ** |
| Fibra em detergente ácido, % MS | 35,9 | 2,4 | 33,4 | 38,7 | * | * | * |
| Proteína bruta, % MS | 7,9 | 3,8 | 6,5 | 9,4 | * | * | * |
| Nitrogênio amoniacal, % NT | 10,5 | 11,9 | 5,9 | 14,8 | * | * | ** |
| Carboidratos solúveis, % MS | 3,27 | 28,6 | 1,06 | 6,40 | * | * | ns |
| Ácido lático, % MS | 3,31 | 13,3 | 0,57 | 5,78 | * | * | * |
| DIVMO, % MO | 58,9 | 1,3 | 56,1 | 62,7 | * | * | * |
| pH | 4,1 | 1,4 | 3,8 | 4,7 | * | * | * |
| Partícula, mm | 32 | 9,8 | 27 | 39 | * | ns | ns |
| Gases, % MS | 3,7 | 51,3 | 0,6 | 8,6 | * | * | * |
| Efluente, kg/t MV | 8,5 | 22,2 | 3,3 | 25,3 | * | * | * |
| RMS, % | 95,5 | 2,0 | 90,5 | 98,9 | * | * | * |

¹ DIVMO = digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica; RMS = recuperação de matéria seca.

² Umi = teor de umidade; Adi = aditivos; * (P<0,01); ** (P<0,05); ns = não-significativo.

Tabela 3 - Teor de matéria seca e perdas gasosas das silagens de capim-marandu

| Variável | Aditivo | | | | |
|------------------|----------|--------|-------|--------|-------|
| | Controle | INOC | BENZ | AF62 | AF44 |
| Matéria seca*, % | 26,8c | 27,4bc | 26,9c | 27,9ab | 28,5a |
| Gases**, % MS | 6,3a | 3,6b | 4,1ab | 1,3c | 3,0bc |

INOC = inoculante bacteriano; BENZ = benzoato de sódio; AF62 = ácido fórmico 62%; AF44 = ácido fórmico 44%.

Médias na linha seguidas de diferentes letras diferem ($P < 0,05$) entre si.

* Erro-padrão da média = (0,2); ** Erro-padrão da média = (0,6).

fornecimento de amônia pelo formato de amônio propiciou aumento da fração nitrogenada, o que pode explicar os maiores teores de PB das silagens, fato confirmado por Huber et al. (1979), que verificaram recuperação média de 95% do nitrogênio aplicado após aditivação de silagens de milho com 0,51 e 1,92% de amônia.

A preservação do teor de PB nas silagens com benzoato foi resultado da ação antimicrobiana e da efetividade deste sal em reduzir os valores de pH das silagens (McDonald et al., 1991). No caso do inoculante, provavelmente houve rápido decréscimo do pH, visto que estas silagens apresentaram os menores valores de pH e os maiores teores de ácido láctico.

O maior teor de $N-NH_3$ foi verificado na silagem com casca de soja peletizada aditivada com AF44 (14,8%). Considerando a proposta de McDonald et al. (1991), as silagens aditivadas com benzoato ou inoculadas podem ser classificadas como desejáveis (teor de $N-NH_3$ inferior a 10% N Total), enquanto as demais, cujos teores de $N-NH_3$ se mantiveram entre 10 e 15%, se enquadrariam como aceitáveis.

As silagens com AF62 ou AF44 apresentaram os maiores teores de $N-NH_3$, apesar de terem diferido da silagem sem aditivo apenas na presença de polpa cítrica. Com a dissociação do formato de amônio, pode ter havido liberação de amônia, o que explicaria os maiores teores de $N-NH_3$ destas silagens.

A silagem controle, com teor de umidade original, apresentou os menores valores de FDN (61,1%) e FDA (33,4%) (Tabela 5). Ao ensilarem a mesma espécie, com 60 dias de crescimento, Mari (2003) e Bergamaschine et al. (2006) verificaram teores de FDN (70,1 e 73,0%, respectivamente) e FDA (39,7 e 42,7%, respectivamente) mais elevados. Esses menores teores de FDN e FDA podem estar relacionados a um conjunto de fatores, como a menor idade de rebrotação da forragem (54 dias), a maior altura de corte em relação ao solo (15 cm) e as condições climáticas durante o crescimento da forragem. A integração desses fatores pode ter resultado em menor relação colmo:folha e menor atuação da matriz extracelular em converter células do tipo

Tabela 4 - Teores de proteína bruta e nitrogênio amoniacal de silagens de capim-marandu

| Teor umidade | Aditivo | | | | |
|-----------------------|----------|--------|--------|-------|--------|
| | Controle | INOC | BENZ | AF62 | AF44 |
| Proteína bruta*, % MS | | | | | |
| Umidade original | 7,6cA | 8,9abA | 8,5bA | 9,4aA | 9,2abA |
| Adição PCP | 7,8A | 7,8B | 7,6B | 7,4B | 7,4B |
| Adição CSP | 6,5bB | 7,7aB | 7,7aB | 7,3aB | 7,9aB |
| N- NH_3 , % N Total | | | | | |
| Umidade original | 10,9abA | 7,9b | 9,4bA | 13,7a | 13,3a |
| Adição PCP | 7,1bB | 6,6b | 5,9bB | 12,3a | 13,2a |
| Adição CSP | 11,9abA | 9,0bc | 7,9cAB | 13,0a | 14,8a |

INOC = inoculante bacteriano; BENZ = benzoato de sódio; AF62 = ácido fórmico 62%; AF44 = ácido fórmico 44%.

Médias na coluna seguidas de diferentes letras maiúsculas para mesma variável diferem ($P < 0,05$) entre si.

Médias na linha seguidas de diferentes letras minúsculas para mesma variável diferem ($P < 0,05$) entre si.

* Erro-padrão da média = (0,2); ** Erro-padrão da média = (0,6).

parênquima (rica em carboidratos solúveis) em esclerênquima (rica em carboidratos estruturais, constituinte das frações FDN e FDA).

Os teores médios de FDN e FDA não foram inferiores nas silagens com polpa cítrica, o que era esperado, não somente por este aditivo ter aumentado a capacidade fermentativa das silagens, mas por conter baixos teores de FDN (27,1%) e FDA (18,2%), o que teria diluído estas frações nas silagens. Na hipótese de ter ocorrido maior consumo de substratos fermentescíveis, durante o processo fermentativo, as silagens acrescidas de polpa cítrica poderiam reduzir a relação componentes solúveis:componentes fibrosos, o que elevaria percentualmente os teores de FDN e FDA, embora isso não tenha influenciado negativamente o valor nutritivo destas silagens.

A inoculação não alterou os teores de FDN e FDA, independentemente do teor de umidade das silagens, uma vez que esses estimulantes de fermentação praticamente não alteram os constituintes da parede celular. A ausência de efetividade ocorre até mesmo quando enzimas fibrolíticas são associadas a estes inoculantes, fato observado por Bergamaschine et al. (2006) em silagens de capim-marandu. Os aditivos AF62 e AF44 foram efetivos em aumentar os teores de FDN das silagens, diferente do observado por Kung Jr. (2000), que não verificou alteração nos teores quando silagens de milho foram aditivadas com doses de amônia e ácido propiônico, presente na composição do aditivo AF44. Considerando esse relato e a maior preservação de PB e sólidos solúveis nas silagens tratadas com AF62 e AF44, por efeito de diluição, era esperada redução dos teores de FDN destas silagens. Esses aditivos alteraram os teores de FDA das silagens, fato condizente com a literatura.

Tabela 5 - Teores de fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido das silagens de capim-marandu

| Teor umidade | Aditivo | | | | |
|------------------|-------------|---------|----------|--------|--------|
| | Controle | INOC | BENZ | AF62 | AF44 |
| | FDN*, % MS | | | | |
| Umidade original | 61,1c | 62,7bc | 64,0abcB | 66,2ab | 66,6a |
| Adição PCP | 63,9b | 65,2ab | 68,0aA | 68,0a | 65,6ab |
| Adição CSP | 61,7b | 61,7b | 64,0abB | 65,4a | 66,0a |
| | FDA**, % MS | | | | |
| Umidade original | 33,4bB | 34,6abB | 36,5a | 35,0ab | 35,4ab |
| Adição PCP | 36,1bcA | 36,9abA | 38,7a | 36,2bc | 34,6c |
| Adição CSP | 35,6abAB | 35,4bAB | 37,7a | 36,6ab | 36,1ab |

INOC = inoculante bacteriano; BENZ = benzoato de sódio; AF62 = ácido fórmico 62%; AF44 = ácido fórmico 44%.

Médias na coluna seguidas de diferentes letras maiúsculas para a mesma variável diferem ($P < 0,05$) entre si.

Médias na linha seguidas de diferentes letras minúsculas para a mesma variável diferem ($P < 0,05$) entre si.

* Erro-padrão da média = (0,7); ** Erro-padrão da média = (0,4).

Ao avaliarem o conteúdo de carboidratos solúveis do capim-tanzânia, Avila et al. (2006) concluíram que a polpa cítrica peletizada foi o aditivo que mais contribuiu com o aumento dos teores de carboidratos totais, o que foi acompanhado da redução do poder tampão (PT). Com a inclusão de 9,0% de polpa cítrica peletizada, o coeficiente fermentativo (CF) da forragem ($CF = MS + 8 \times CHO/PT$), que era de 38, passou para 60, um aumento de 57,9%.

Neste experimento, as silagens com 10% de polpa cítrica ($CF = 30,8 + 8 \times 3,3/20,6 = 32,0$) ou casca de soja ($CF = 31,0 + 8 \times 2,0/21,1 = 31,8$) apresentaram médias de coeficiente fermentativo 23,0% superiores às das silagens com teor de umidade original ($CF = 24,8 + 8 \times 2,8/23,0 = 25,8$), cujo cálculo se baseou nas médias dos teores de MS, carboidratos solúveis e poder tampão (Tabela 1). Apesar de não ter sido avaliado estatisticamente, o maior coeficiente fermentativo das silagens com polpa cítrica ou casca de soja justifica os benefícios destes absorventes de umidade.

Os teores de carboidratos solúveis foram alterados pelos efeitos de umidade e aditivos. A adição de polpa cítrica foi responsável pelo maior aumento do teor médio de carboidratos solúveis das silagens com esse aditivo (5,22%), que diferiram daquelas com teor de umidade original (2,25%) e daquelas acrescidas de casca de soja (2,72%), que não diferiram entre si. Os maiores teores de carboidratos solúveis na presença de polpa cítrica ratifica a contribuição desse subproduto em fornecer substratos fermentescíveis às bactérias acidoláticas. Os aditivos químicos foram efetivos em elevar e/ou preservar o teor de carboidratos solúveis das silagens, fato não observado para o inoculante contendo cepas de *Pediococcus acidilactici* e *Lactobacillus plantarum*, que não promoveu diferenças nas silagens (Tabela 6).

Tabela 6 - Teor de carboidratos solúveis de silagens de capim-marandu

| Variável | Aditivo | | | | |
|-----------------------------|----------|--------|-------|-------|-------|
| | Controle | INOC | BENZ | AF62 | AF44 |
| Carboidratos solúveis, % MS | 1,82c | 2,58bc | 3,15b | 4,69a | 4,73a |

INOC = inoculante bacteriano; BENZ = benzoato de sódio; AF62 = ácido fórmico 62%; AF44 = ácido fórmico 44%.

Médias na linha, seguidas de diferentes letras minúsculas, diferem ($P < 0,05$) entre si.

Erro-padrão da média = (0,27); * Erro-padrão da média = (0,28); ** Erro-padrão da média = (0,31).

A inoculação aumentou o teor médio de ácido láctico e reduziu o pH das silagens. Provavelmente, não houve decréscimo nos teores de carboidratos solúveis, em decorrência da rápida queda do pH, desencadeada inicialmente por cepas de *Pediococcus acidilactici*. Essas bactérias atuam quando o pH e a temperatura são mais elevados, o que ocorre no início do processo fermentativo. Em ambiente com pH entre 6,0-6,5 e temperatura de 45°C, *Pediococcus acidilactici* são efetivas em reduzir os valores de pH. A acidificação do meio e a redução da temperatura propiciam condições ideais para atuação de cepas de *Lactobacillus plantarum*, principais produtoras de ácido láctico, responsável pelo aumento da acidez.

Os aditivos AF62 e AF44 foram os mais eficientes em preservar os carboidratos solúveis, o que poderia ser explicado pela eficiência do ácido fórmico em reduzir os valores de pH assim que aplicado ao material ensilado. O valor médio de pH da forragem logo após a aplicação destes aditivos foi de 4,4 e essa acidificação pode ter inibido a ação de bactérias do gênero *Clostridium*. Resultado efetivo também foi observado nas silagens com benzoato (3,15%), que diferiram daquelas sem aditivo (1,82%). Kleinschmit et al. (2005) também verificaram maior preservação de carboidratos solúveis em silagem de milho tratada com benzoato (9,67%) em comparação a uma silagem controle (2,70%).

É provável que a atuação de microrganismos indesejáveis, como enterobactérias e bactérias do gênero *Clostridium*, tenha sido parcialmente inibida, o que contribuiu para maior preservação dos carboidratos solúveis. O benzoato foi responsável pelos menores valores de pH e maiores teores de ácido láctico das silagens (Tabela 7), fato que comprova a não-restrição da atividade de bactérias acidoláticas pelo benzoato.

Segundo Ferrari Jr. & Lavezzo (2001), teores de ácido láctico de 1,5 a 2,5% seriam condizentes com silagens de boa qualidade. Com exceção do teor de ácido láctico apresentado pela silagem não-tratada (0,57%), os valores obtidos nas

Tabela 7 - Teor de ácido láctico (% MS) e pH de silagens de capim-marandu

| Teor umidade | Aditivo | | | | |
|------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | Controle | INOC | BENZ | AF62 | AF44 |
| | Ácido láctico* | | | | |
| Umidade original | 0,57cB | 4,25a | 4,79a | 2,35b | 2,35b |
| Adição PCP | 5,78aA | 4,43b | 5,55a | 1,71d | 2,89c |
| Adição CSP | 1,55bB | 4,19a | 4,69a | 2,10b | 2,49b |
| | pH** | | | | |
| Umidade original | 4,7aA | 4,1bA | 4,1bA | 4,2b | 4,1b |
| Adição PCP | 3,8cB | 3,9cB | 3,9cB | 4,2a | 4,0b |
| Adição CSP | 4,6aA | 4,1bA | 4,2bA | 4,2b | 4,1b |

INOC = inoculante bacteriano; BENZ = benzoato de sódio; AF62 = ácido fórmico 62%; AF44 = ácido fórmico 44%.

Médias na coluna seguidas de diferentes letras maiúsculas para a mesma variável diferem ($P < 0,05$) entre si.

Médias na linha seguidas de diferentes letras minúsculas para a mesma variável diferem ($P < 0,05$) entre si.

* Erro-padrão da média = (0,60), ** Erro-padrão da média = (0,03).

demais silagens se enquadram no valor mínimo sugerido pelos autores. A polpa cítrica foi efetiva em elevar os teores de ácido láctico somente das silagens sem aditivos (5,78%), assim, a alíquota analisada pode ter sido, por erro de homogeneização, composta pela maior participação de polpa cítrica, o que teria aumentado este valor. Do contrário, as silagens inoculadas com *P. acidilactici* e *L. plantarum* e acrescidas de polpa cítrica teriam teor de ácido láctico superior ao da silagem sem inoculante, o que não ocorreu. Quando considerado o efeito da umidade, as silagens inoculadas apresentaram altos teores médios de ácido láctico, como resultado da eficiente utilização de substratos fermentescíveis (disponibilizados pela forragem, polpa cítrica e casca de soja) pelas cepas de *P. acidilactici* e *L. plantarum*.

O maior valor de pH foi observado na silagem com teor de umidade original e sem aditivo (4,7) e foi próximo aos obtidos por Bergamaschine et al. (2006) e Reis et al. (2006) em silagens de capim-marandu sem aditivo (pH de 4,9 e 4,8, respectivamente). As silagens acrescidas de polpa cítrica peletizada apresentaram os menores valores de pH (Tabela 7), fato decorrente do fornecimento de carboidratos solúveis e, provavelmente, do aumento da pressão osmótica, que favorece bactérias lácticas epifíticas em comparação aos microrganismos não osmotolerantes. Ao ensilarem a mesma espécie, com mesmo percentual de polpa cítrica, Bergamaschine et al. (2006) também verificaram redução do valor de pH (4,9 para 4,2).

Nas silagens com teor de umidade original ou acrescidas de casca de soja peletizada, os aditivos químicos e o inoculante propiciaram redução dos valores de pH. Nas silagens com benzoato ou inoculante, foram verificados

maiores teores de ácido láctico, responsável pelo decréscimo do pH, fato explicado pelo maior poder de dissociação deste ácido (maior liberação de H^+). Utilizando as mesmas cepas de microrganismos (*P. acidilactici* e *L. plantarum*), Carvalho et al. (2006) destacaram a inoculação como o tratamento mais efetivo em reduzir o valor de pH das silagens de capim-elefante.

A efetividade dos aditivos AF62 e AF44 em reduzir o pH das silagens com umidade original ou acrescidas de casca de soja peletizada imediatamente após sua aplicação se deve ao grande poder de dissociação do ácido fórmico. As moléculas deste ácido se atraem por pontes de hidrogênio e, quando em solução aquosa, liberam 1 próton (H^+) por molécula. Siebald et al. (2003) também observaram redução de pH e maior preservação de carboidratos solúveis quando forragens foram aditivadas com ácido fórmico e formato de amônio.

Do ponto de vista biológico, com exceção das silagens com teor de umidade original e daquelas com casca de soja peletizada, ambas sem aditivos, as demais apresentaram pH similar ao considerado ideal para silagem de milho. O reduzido tamanho de partículas das silagens, cuja média foi de 32 mm (Tabela 2), resultou em eficiente compactação, favorecendo as bactérias lácticas, eficientes na redução do pH.

Os coeficientes de DIVMO (Tabela 8) variaram de 56,1% (silagem com teor de umidade original e sem aditivo) a 62,7% (silagem com casca de soja e com inoculante), com resultados de mesma amplitude observada por Mari (2003) em silagens de capim-marandu colhido com 45 (63,3% DIVMO) ou 60 (55,2% DIVMO) dias de crescimento vegetativo.

Quando avaliados os teores de umidade, a casca de soja propiciou o maior coeficiente médio de DIVMO das silagens. Contudo, estas silagens não diferiram daquelas com teor de umidade original quanto à composição em FDN, FDA e carboidratos solúveis, que apresentaram maior teor médio de PB, assim, esperar-se-ia que o coeficiente médio de DIVMO das silagens com casca de soja não fosse o mais elevado. A explicação para este resultado pode ser a maior digestibilidade da fração fibrosa da casca de soja em comparação à do capim-marandu.

Os aditivos tiveram efeito nas silagens com umidade original e acrescidas de casca de soja. O inoculante e o AF62 foram os aditivos mais efetivos, visto que as silagens apresentaram os maiores coeficientes de DIVMO. Ao ensilarem forragens no Sul do Chile, com ou sem ácido fórmico e formato de amônio, Siebald et al. (2003) verificaram maior DIVMO nas silagens com aditivo, em decorrência do processo fermentativo mais eficiente.

Tabela 8 - Digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica de silagens de capim-marandu

| Teor umidade | Aditivo | | | | |
|------------------|----------|--------|---------|---------|--------|
| | Controle | INOC | BENZ | AF62 | AF44 |
| Umidade original | 56,1bB | 58,3aB | 57,4abB | 58,8aB | 59,2a |
| Adição PCP | 59,1A | 58,3B | 57,6AB | 58,5B | 59,4 |
| Adição CSP | 58,4cA | 62,7aA | 59,5bcA | 61,3abA | 59,7bc |

INOC = inoculante bacteriano; BENZ = benzoato de sódio; AF62 = ácido fórmico 62%; AF44 = ácido fórmico 44%.

Médias na coluna seguidas de diferentes letras maiúsculas diferem ($P < 0,05$) entre si. Médias na linha, seguidas de diferentes letras minúsculas, diferem ($P < 0,05$) entre si.

* Erro-padrão da média = (0,4).

As silagens acrescidas de AF62, AF44 e benzoato apresentaram os maiores teores de PB e carboidratos solúveis e diferiram daquelas sem aditivo. No entanto, somente a silagem com AF62 diferiu daquelas sem aditivo, quanto ao coeficiente DIVMO, nos dois teores de umidade (original ou com casca de soja). As silagens com benzoato apresentaram maiores teores de FDA, fração diretamente relacionada à digestibilidade. Uma vez que a preservação de componentes de alta digestibilidade nesta silagem foi maior, esperava-se redução da fração fibrosa e, conseqüentemente, aumento do coeficiente de DIVMO.

A literatura nacional é rica em estudos sobre a eficiência da polpa cítrica peletizada em reduzir as perdas por efluente. Contudo, nesses estudos não foram determinadas essas perdas na presença de casca de soja. Nesta pesquisa, tanto a polpa cítrica quanto a casca de soja reduziram a produção de efluente, com médias de 4,1 e 3,8 kg/t MV, respectivamente (Tabela 9). A capacidade absorvente destas fontes e o aumento do teor de MS das silagens, próximo de 30%, justificam as menores perdas. Segundo McDonald et al. (1991), a produção de efluente em silagens com 25 a 35% de MS seria pouco significativa ou nula.

Todos os aditivos propiciaram aumento da produção de efluente em silagens com teor de umidade original diferente do observado naquelas sem aditivos. A maior síntese de efluente na presença de ácido fórmico e seus sais foi demonstrada por McDonald et al. (1991). É provável que este ácido orgânico tenha reduzido o valor do pH abaixo do pK_a para a maioria dos ácidos graxos. Desse modo, o aumento de ácidos graxos não dissociados propiciaria maior extravasamento do conteúdo celular, como observado na presença dos aditivos AF62 e AF44. Na ausência de aditivos, os valores médios de condutividade elétrica (CE) da massa ensilada foram de 1,37, 1,21 e 0,93 mS/cm, respectivamente. Quanto maior a condutividade elétrica, maior o extravasamento do conteúdo celular.

A produção média de gases foi de 3,7%, com amplitude de variação de 0,6% e 8,5% (Tabela 9), e está relacionada

Tabela 9 - Produção de efluente, perdas por gases e recuperação de matéria seca em silagens de capim-marandu

| Teor umidade | Aditivo | | | | |
|-------------------------------|----------|---------|--------|--------|---------|
| | Controle | INOC | BENZ | AF62 | AF44 |
| Produção de efluente, kg/t MV | | | | | |
| Umidade original | 11,5dA | 13,5cdA | 20,3bA | 25,3aA | 17,1bcA |
| Adição PCP | 5,0B | 3,5B | 3,6B | 4,4B | 4,2B |
| Adição CSP | 4,9B | 3,8B | 3,3B | 3,7B | 3,4B |
| Perdas por gases, % MS | | | | | |
| Umidade original | 8,5aA | 2,4b | 1,3bB | 1,9b | 3,6b |
| Adição PCP | 2,4B | 4,0 | 2,4B | 1,1 | 0,6 |
| Adição CSP | 7,9aA | 4,3ab | 8,6aA | 1,0b | 4,9ab |
| Recuperação de MS, % | | | | | |
| Umidade original | 90,5bB | 96,3a | 96,7aA | 95,7a | 94,8ab |
| Adição PCP | 97,1A | 95,7 | 97,2A | 98,4 | 98,9 |
| Adição CSP | 91,6bB | 95,3ab | 91,1bB | 98,6a | 94,8ab |

INOC = inoculante bacteriano; BENZ = benzoato de sódio; AF62 = ácido fórmico 62%; AF44 = ácido fórmico 44%.

Médias na coluna seguidas de diferentes letras maiúsculas para a mesma variável ($P < 0,05$) diferem entre si.

Médias na linha, seguidas de diferentes letras minúsculas para a mesma variável diferem ($P < 0,05$) entre si.

* Erro-padrão da média = (0,9).

ao processo de compactação, que se mostrou eficiente. O reduzido tamanho de partículas propiciou maior expulsão do oxigênio residual, fato comprovado pela alta densidade das silagens, que variou de 602 a 631 kg MV/m³. Segundo McDonald et al. (1991), as perdas por gases dependem não apenas dos microrganismos envolvidos, mas também dos substratos fermentescíveis. Portanto, procedimentos que restrinjam a ação de microrganismos, como melhor compactação, fornecimento de carboidratos solúveis e redução do teor de umidade, resultariam em aumento do coeficiente fermentativo. Desse modo, as fermentações seriam menos extensas e acompanhadas de menores perdas por gases.

A adição de polpa cítrica na silagem reduziu as perdas por gases (2,1%), embora as silagens com polpa cítrica não tenham diferido daquelas com teor de umidade original (3,5%). Essas silagens apresentaram em média 24,2% de MS, valor que pode ter influência, embora não tão efetiva, no controle do excesso de umidade, que seria responsável pelo aumento destas perdas (Woolford, 1984).

Contrariando esta afirmação, as silagens contendo casca de soja apresentaram a maior perda média por gases (5,3%), o que não era esperado. É importante ressaltar que bactérias e leveduras, dependendo do substrato, respondem com maiores ou menores perdas de MS, assim, a explicação para o pequeno incremento na produção de gases entre as silagens, sem a determinação das populações de microrganismos presentes, se torna complexa. Com exceção das

silagens com benzoato (4,1%), que não diferiram daquelas sem aditivos (6,3%), as demais apresentaram redução na produção de gases e aumento na recuperação de MS. Os aditivos mais efetivos em reduzir a produção de gases foram AF62 e AF44. A literatura carece de trabalhos avaliando essas perdas em silagens com ácido fórmico, no entanto, é possível afirmar que esses aditivos propiciaram imediata acidificação do meio, em razão do maior poder de dissociação desse ácido monocarboxílico, de cadeia aberta, que libera 1 próton (H⁺) por molécula.

Na cinética de colonização dos microrganismos, a redução do pH ocasiona decréscimo de enterobactérias e *Clostridium*. Os aditivos AF62 e AF44 também disponibilizam amônia, que atua na inibição desses microrganismos indesejáveis, reduzindo as perdas de MS. Ao aplicarem AF44 em silagens de trevo-vermelho (*Trifolium pratense* L.), Florek et al. (2004) observaram rápida redução do pH, restrição de fermentações indesejáveis e aumento da relação ácido láctico:ácidos graxos totais.

A recuperação de MS apresentou comportamento semelhante ao das perdas por gases, visto que a produção de gases representou quase integralmente as perdas totais de MS. Desse modo, a polpa cítrica, os aditivos (AF44 e AF62) e o inoculante, responsáveis pelas menores perdas por gases, foram os tratamentos mais eficientes em aumentar a recuperação de MS.

Conclusões

O acréscimo de polpa cítrica na ensilagem melhora as características da silagem de capim-marandu, no entanto, deve ser norteado pelo teor de matéria seca final da silagem, em torno de 30%. A casca de soja consiste em opção interessante, pois sua adição na ensilagem aumenta o valor nutritivo e reduz a produção de efluente da silagem. Aditivos contendo ácido fórmico e formato de amônio são eficientes em reduzir perdas e elevar a digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica das silagens, todavia, são necessários novos experimentos para comprovação de seus efeitos na silagem. A inoculação com duas cepas de bactérias *P. acidilactici* e *L. plantarum* melhora a digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica e reduz as perdas por gases, indício de que a combinação de cepas de bactérias, desde que não comprometa as perdas em aerobiose, pode ser uma opção na ensilagem de capim-marandu.

Literatura Citada

ASHBELL, G. Conservation of citrus peel by ensiling for ruminant feed. In: SIMPÓSIO DE UTILIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS

- AGROINDUSTRIAS E RESÍDUOS DE COLHEITA NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES, 1992, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EMBRAPA CPPSE, 1992. p.189-190.
- ÁVILA, C.L.S.; PINTO, J.C.; TAVARES, V.B. et al. Avaliação dos conteúdos de carboidratos solúveis do capim-Tanzânia ensilado com aditivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.3, p.648-654, 2006.
- BERGAMASCHINE, A.F.; PASSIPIÉRI, M.; FILHO, W.V.V. et al. Qualidade e valor nutritivo de silagens de capim-marandu (*B. brizantha* cv. Marandu) produzidas com aditivos ou forragem emurcheçada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.4, p.1454-1462, 2006.
- BERZAGHI, P.; COZZI, G.; ANDRIGHETTO, I. The use of near infrared analysis for *in situ* studies. **Journal of Dairy Science**, v.80, n.12, p.3263-3270, 1997.
- CARVALHO, H.P.; MARTINS, R.V.; OLIVEIRA, A.L.F. et al. Silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) em diferentes épocas de corte associado a inclusão de resíduos agroindustriais e inoculantes microbianos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Zootecnia/Gmosis, [2006]. (CD-ROM).
- CHANEY, A.L.; MARBACH, E.P. Modified reagents for determination of urea and ammonia. **Clinical Chemistry**, v.8, p.130-137, 1962.
- DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K. et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v.28, p.350, 1956.
- FERRARI JR., E.; LAVEZZO, W. Qualidade da silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) emurcheçado ou acrescido de farelo de mandioca. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.5, p.1424-1431, 2001.
- FLOREK, S.; PURWIN, C.; MINAKOWSKI, D. et al. The influence of formic acid additives on the quality of silage from different plant material. **Veterinarija I Zootecnika**, v.26, n.48, p.22-28, 2004.
- HOLDEN, L.A. Comparison of methods of *in vitro* dry matter digestibility for ten feeds. **Journal of Dairy Science**, v.82, n.8, p.1791-1794, 1999.
- HUBER, J.T.; FOLDAGER, J.; SMITH, N.E. Nitrogen distribution in corn silage treated with varying levels of ammonia. **Journal of Animal Science**, v.48, n.6, p.1509-1515, 1979.
- KLEINSCHMIT, D.H.; SCHMIDT, R.J.; KUNG JR., L. The effects of various antifungal additives on the fermentation and aerobic stability of corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.88, n.6, p.2130-2139, 2005.
- KRAUS, T.J.; KOEGEL, R.G.; STARUB, R.J. et al. Leachate conductivity as an index for quantifying level of forage conditioning. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 1997, Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: ASAE, 1997. p.1-12.
- KUNG JR., L.; GRIEVE, D.B.; THOMAS, J.W. et al. Added ammonia or microbial inoculate for fermentation and nitrogenous compounds of alfalfa ensiled at various percents of dry matter. **Journal of Dairy Science**, v.67, p.299-306, 1984.
- KUNG JR., L. Microbial and chemical additives for silage – effects on fermentation and animal response. In: WORKSHOP SOBRE MILHO PARA SILAGEM, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2000. v.2, p.53.
- MARI, L.J. **Intervalo entre cortes em capim-marandu (Brachiaria brizantha (Hochts. ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu): produção, valor nutritivo e perdas associadas à fermentação da silagem**. 2003. 138f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- MCDONALD, P.; HENDERSON, A.R.; HERON, S.J.E. **The biochemistry of silage**. 2.ed. Marlow: Chalcomb Publications, 1991. 340p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7.ed. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 1996. 242p.

- NSEREKO, V.L.; ROOKE, J.A. Characterization of peptides in silages made from perennial ryegrass with different silage additives. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.80, p.725-731, 2000.
- PLAYNE, M.J.; McDONALD, P. The buffering constituents of herbage and of silage. **Journal of the Science of Food and Agricultural**, v.17, p.264-268, 1966.
- PRYCE, J.D. A modification of Barker-Summerson method for the determination of lactic acid. **Analyst**, v.94, p.1151-1152, 1969.
- REIS, R.A.; AMARAL, R.C.; BERNARDES, T.F. et al. Efeito do tempo de fechamento dos silos nas alterações fermentativas e químicas das silagens do capim-Marandu (*Brachiaria brizanta* cv. Marandu). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Zootecnia/Gmosis [2006]. (CD-ROM).
- ROTZ, C.A.; MUCK, R. Changes in forage quality during harvest and storage. In: FAHEY, D.C.; COLLINS, M.; MERTENS, D.R.; MOSER, L.E. (Eds.). **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society, Soil Science Society, 1994. p.828-868.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. **The SAS System for Windows**: version 8.02. Cary: SAS Institute. [2001] (CD-ROM).
- SCHMIDT, P. **Perdas fermentativas na ensilagem, parâmetros digestivos e desempenho de bovinos de corte alimentados com rações contendo silagens de cana-de-açúcar**. 2006. 228f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.
- SIEBALD, E.; DUMONT, L.J.C.; NAVARRO, D. et al. Uso de ácido fórmico más formiato de amonio en ensilajes de praderas permanentes en el Sur de Chile. **Agricultura Técnica**, v.63, n.3, p.251-258, 2003.
- SILVA, D.J. **Análise de alimentos** (métodos químicos e biológicos). Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1981. 166p.
- SOLLENBERGER, L.E.; REIS, R.A.; NUSSIO, L.G. et al. Conserved forage. In: MOSER, L.E.; BURSON, B.L.; SOLLENBERGER, L.E. (Eds.) **Warm season grasses**. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 2003. p.355-387.
- TOMICH, T.R.; MESSIAS, E.C.; SERENO, J.R.B. Silagens confeccionadas com folhas de capim-elefante de crescimento pleno e níveis crescentes de adição de casca de soja. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Zootecnia/Gmosis [2006]. (CD-ROM).
- WOOLFORD, M.K. **The silage fermentation**. New York: Marcel Dekker, 1984. 350p.
- ZAMBOM, M.A.; SANTOS, G.T.; MODESTO, E.C. et al. Valor nutricional da casca do grão de soja, farelo de soja, milho moído e farelo de trigo para bovinos. **Acta Scientiarum**, v.23, n.4, p.937-943, 2001.