

DANIELE REBOUÇAS SANTANA LOURES

**CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE E COMPOSIÇÃO
QUÍMICO-BROMATOLÓGICA DA SILAGEM SOB NÍVEIS DE
COMPACTAÇÃO E DE UMIDADE DO CAPIM-ELEFANTE
(*Pennisetum purpureum* Schum.), CV. CAMEROON**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
JULHO - 2000**

DANIELE REBOUÇAS SANTANA LOURES

**CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE E COMPOSIÇÃO
QUÍMICO-BROMATOLÓGICA DA SILAGEM SOB NÍVEIS DE
COMPACTAÇÃO E DE UMIDADE DO CAPIM-ELEFANTE
(*Pennisetum purpureum* Schum.), CV. CAMEROON**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 13 de dezembro de 1999.



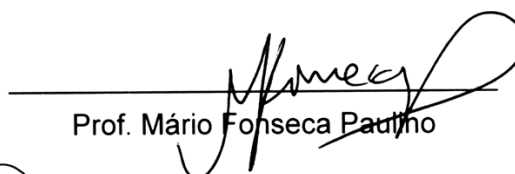
Prof. Odilon Gomes Pereira
(Conselheiro)



Prof. Paulo Roberto Cecon
(Conselheiro)



Prof. Domicio do Nascimento Júnior



Prof. Mário Fonseca Paulino



Prof. Rasmão Garcia
(Orientador)

A meus avós,
Margarida e João (*in memoriam*),
meus pais,
Emílio e Lívia,
e meus irmãos,
Paula e Emílio,

Ofereço.

AGRADECIMENTO

Especialmente ao Professor Rasmô Garcia, pela amizade, pelo apoio e orientação.

Ao Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar o curso.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Nível de Ensino Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Professor Paulo Roberto Cecon, pela valiosa orientação nas análises estatísticas.

Ao Professor Odilon Gomes Pereira, pelas sugestões e colaboração.

Aos professores Domício do Nascimento Júnior e Mário Fonseca Paulino, pelo aprimoramento deste trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Nutrição Animal, Vera, Fernando, Valdir, Monteiro, Wellington e Sérgio, pela amizade e apoio nas análises.

Ao Professor Rafael K. Xavier da Estação de Tratamento de Água, pela colaboração para realização das análises.

Ao Brás, funcionário do Departamento de Solos, pela preciosa ajuda nas análises do efluente.

Ao Professor Everaldo Gonçalves de Barros do Laboratório de Genética Molecular de Plantas, pela colaboração na cessão do equipamento laboratorial.

Ao Professor Gulab, pela atenção e assistência, e aos funcionários do Departamento de Química, Eduardo e Mírtes, pelo incentivo.

Ao Fernando, estagiário do setor de forragicultura, pelo auxílio nas análises laboratoriais.

Aos amigos por tudo.

Ao Raul, pela presença e apoio no decorrer deste curso.

Ao Glaucon, Maurício, Alexandre, Aureliano e Alessandra, pela ajuda nos trabalhos de campo.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

DANIELE REBOUÇAS SANTANA LOURES, filha de Emílio Gomide Loures e Lívia Helena Rebouças Santana Loures, nasceu na cidade de Itabuna, Estado da Bahia, em 16 de dezembro de 1972.

Em julho de 1997, graduou-se em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa.

Em agosto de 1997, iniciou o Programa de Mestrado em Zootecnia, nesta mesma Instituição, na área de concentração em Forragicultura e Pastagens, defendendo tese em dezembro de 1999.

CONTEÚDO

LISTA DE QUADROS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
EXTRATO.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Efeito da compactação.....	3
2.2. Efeito do conteúdo de matéria seca.....	8
2.3. Efeitos da espécie forrageira, fermentação, aditivos, pré- tratamento e fertilização.....	11
2.4. Características do efluente.....	13
2.5. Características da silagem.....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1. Local, época de realização e material utilizado no experimento.....	22
3.2. Coleta e processamento das amostras.....	24
3.3. Análises químico-bromatológicas.....	25
3.4. Delineamento experimental e análises estatísticas.....	26

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1. Experimento I - Característica das silagens utilizando capim- elefante com 13% de matéria seca.....	27
4.1.1. Matéria seca e proteína bruta.....	27
4.1.2. Fibra em detergente ácido, fibra em detergente neutro e digestibilidade <i>in vitro</i>	29
4.1.3. Nitrogênio amoniacal e pH.....	29
4.1.4. Minerais (P, Ca, Na, Mg e K).....	31
4.1.5. Característica do efluente.....	34
4.1.5.1. Produção de efluente.....	34
4.1.5.2. DBO, DQO e DQO/DBO.....	38
4.1.5.3. Minerais.....	38
4.1.5.4. Sólidos totais.....	39
4.1.5.5. Nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, proteína bruta e pH.....	43
4.2. Experimento II - Característica das silagens utilizando capim- elefante com 25 % de matéria seca.....	47
4.2.1. Matéria seca e proteína bruta.....	49
4.2.2. Fibra em detergente ácido, fibra em detergente neutro e digestibilidade <i>in vitro</i>	49
4.2.3. pH e nitrogênio amoniacal.....	51
4.2.4. Minerais (P, Ca, Na, Mg e K).....	51
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
APÊNDICE.....	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composição química do capim-elefante utilizado na ensilagem com 13% e 25% de matéria seca.....	23
Quadro 2 - Níveis médios de compactação aplicados no material ensilado e quantidade de material colocado dentro dos silos experimentais, em função de dois níveis (13% e 25%) de matéria seca.....	24
Quadro 3 - Equações de regressão ajustadas em função dos níveis de compactação (CO) e dias (D) para quantidade de efluente produzida em mL, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, proteína bruta e sólidos totais (ST) em mg/L, fósforo e potássio em percentagem de matéria seca do efluente em silagens de capim-elefante com 13% de matéria seca e os respectivos coeficientes de determinação (R^2).....	35
Quadro 4 - Produção de efluente observada durante sete dias de coleta e produção estimada através das equações propostas por SUTTER (1957), ZIMMER (1967) e BASTIMAN (1976) para o material ensilado com 13% de matéria seca.....	37
Quadro 5 - Aplicação da equação de regressão proposta por MILLER e CLIFTON (1965) para se estimar a quantidade de matéria seca perdida e resultados calculados para o material ensilado com 13% de matéria seca.....	38
Quadro 6 - Produção de efluente observada durante sete dias de coleta e produção estimada através das equações propostas por SUTTER (1957), ZIMMER (1967) e BASTIMAN (1976) para o material ensilado com 25% de matéria seca.....	48

Quadro 7 -	Aplicação da equação de regressão proposta por MILLER e CLIFTON (1965) para se estimar a quantidade de matéria seca perdida e resultados calculados para o material ensilado com 25% de matéria seca.....	48
Quadro 1A	Resumo da análise de variância dos dados de fibra em detergente ácido (FDA) e fibra em detergente neutro (FDN) e digestibilidade <i>in vitro</i> na matéria seca em silagens com 13% de matéria seca.....	64
Quadro 2A	Resumo da análise de variância dos dados de cinza, proteína bruta na matéria seca (MS), nitrogênio amoniacal e pH em silagens com 13% de matéria seca.....	64
Quadro 3A	Resumo da análise de variância dos dados de sódio, cálcio, magnésio, fósforo e potássio na matéria seca (MS) em silagens com 13% de matéria seca.....	65
Quadro 4A	Resumo da análise de variância dos dados de cinza, proteína bruta na matéria seca (MS), pH e nitrogênio amoniacal em silagens com 25% de matéria seca.....	65
Quadro 5A	Resumo da análise de variância dos dados de fibra em detergente ácido (FDA) e fibra em detergente neutro (FDN) e digestibilidade <i>in vitro</i> na matéria seca (MS) em silagens com 25% de matéria seca	65
Quadro 6A	Resumo da análise de variância dos dados de sódio, cálcio, magnésio, fósforo e potássio na matéria seca (MS) em silagens com 25% de matéria seca.....	66
Quadro 7A	Pontos de máximo e mínimo para nitrogênio amoniacal, proteína bruta, potássio, fibra em detergente ácido (FDA) e fibra em detergente em neutro (FDN) percentagem de matéria seca (MS) para silagens de capim-elefante com 13% de matéria seca.....	66
Quadro 8A	Pontos de máximo e mínimo para fósforo, sódio, magnésio, pH, nitrogênio amoniacal, fibra em detergente ácido em percentagem de matéria seca (MS) para silagens de capim-elefante com 25% de matéria seca.....	66
Quadro 9A	Teores médios observados em percentagem de matéria seca (MS) em função dos níveis da compactação para a proteína bruta, digestibilidade <i>in vitro</i> , fibra em detergente neutro (FDN) e fibra de detergente ácido (FDA), pH e nitrogênio amoniacal em silagens utilizando capim-elefante com 13% e 25% de matéria seca.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Estrutura e disposição dos silos.....	23
Figura 2 -	Estimativa da percentagem de proteína bruta de silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação.....	28
Figura 3 -	Estimativa da percentagem de FDN (A) e FDA (B) de silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação.....	30
Figura 4 -	Estimativa da percentagem de nitrogênio amoniacal (A) e pH (B) de silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação.....	32
Figura 5 -	Estimativa da percentagem de fósforo, cálcio, magnésio (A) e potássio (B) de silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação.....	33
Figura 6 -	Relação entre a quantidade produzida (ml) observada do efluente e a pressão aplicada (kg/m^3) em um período de 7 dias, em silagens de capim-elefante com 13% de matéria seca.....	36
Figura 7 -	Relação entre a quantidade de efluente produzida (ml) observada e pressão aplicada (kg/m^3).....	36
Figura 8 -	Estimativa da percentagem de fósforo (% MS) no efluente produzido da silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca), em função da compactação e dos dias de coleta.....	40

Figura 9 -	Estimativa da percentagem de potássio (%MS) no efluente produzido da silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação e dos dias de coleta.....	41
Figura 10 -	Estimativa dos sólidos totais (mg/l) no efluente produzido da silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação e dos dias de coleta.....	42
Figura 11 -	Estimativa do nitrogênio total (mg/l) no efluente produzido da silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação e dos dias de coleta.....	44
Figura 12 -	Estimativa do nitrogênio amoniacal (mg/l) no efluente produzido da silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação e dos dias de coleta.....	45
Figura 13 -	Estimativa da proteína bruta (mg/l) no efluente produzido da silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação e dos dias de coleta.....	46
Figura 14 -	Estimativa da percentagem de FDA (A) e digestibilidade <i>in vitro</i> (B) de silagem de capim-elefante com 25% de matéria seca, em função da compactação.....	50
Figura 15 -	Estimativa do pH (A) e nitrogênio amoniacal (B) de silagem de capim-elefante com 25% de matéria seca, em função da compactação.....	52
Figura 16 -	Estimativa da percentagem de sódio (A), fósforo (B) e magnésio (C) de silagem de capim-elefante com 25% de matéria seca, em função da compactação.....	53

EXTRATO

LOURES, Daniele Rebouças Santana, M.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2000. **Características do efluente e composição químico-bromatológica da silagem sob níveis de compactação e de umidade do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), cv. Cameroon.** Orientador: Rasmão Garcia. Conselheiros: Odilon Gomes Pereira e Paulo Roberto Cecon.

Foram realizados dois experimentos, utilizando capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) cv. Cameroon, com dois teores de matéria seca (Experimento I - 13% e Experimento II - 25%), submetidos a cinco níveis de compactação no processo de ensilagem, com o objetivo de determinar as características quantitativas e qualitativas do efluente produzido, correlacionando-as com os níveis de compactação e umidade e a qualidade da silagem. A ensilagem foi realizada em silos cilíndricos de PVC. Para o material ensilado com 13% de matéria seca, aplicaram-se as pressões de 356,67; 446,67; 531,33; 684,00; e 791,00 kg/m³ e para o material ensilado com 25% de matéria seca, foram aplicadas as pressões de 294,67; 331,67; 387,00; 438,33; e 488,67 kg/m³. O efluente das silagens de capim com maior teor de umidade foi coletado num período de sete dias. Os valores de pH (3,84–3,89) e nitrogênio amoniacal (6,0–10,4), observados em função da compactação para o nível de 25% de matéria seca, podem ser considerados satisfatórios para uma silagem de boa qualidade. Todavia, para o nível de 13% de matéria seca,

os valores de pH (4,4-4,7) e nitrogênio amoniacal (16,2-27,1) são considerados valores altos, caracterizando silagens de qualidade inferior. O efeito da compactação ficou bastante evidenciado em relação às perdas ocasionadas pelo processo da ensilagem. Em silagens obtidas do capim-elefante com alto teor de umidade, no menor nível de compactação (356,67 kg/m³), foram encontradas perdas de matéria seca proporcionais às aquelas verificadas em nível de maior compactação (791,00 kg/m³). Em relação ao mínimo de perdas totais, em silagens com alto teor de umidade, a compactação mais adequada foi de 550 kg/m³ sob estas condições experimentais. Para as silagens com alto teor de matéria seca, as perdas foram menores, quando comparadas às silagens com alta umidade. O nível de compactação de 488,67 kg/m³, na ensilagem de capim com maior umidade, apresentou menores perdas de matéria seca. Os valores de DBO (14.596,69 mg/l), DQO (31.138,2 mg/l), DQO/DBO (2,38), pH (4,30), magnésio (0,3997% MS) e sódio (0,0008% MS) observados no efluente, não variaram em função da compactação e dos dias de coleta. Para o fósforo, potássio, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, nitrogênio orgânico, proteína bruta e sólidos totais, constataram-se variações em função da compactação e dos dias.

ABSTRACT

LOURES, Daniele Rebouças Santana, M.S., Universidade Federal de Viçosa, July 2000. **Characteristics of effluent and chemical-bromatologic compound of silage under levels of pressure and moisture content of capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), cv. Cameroon.** Adviser: Rasmô Garcia. Committee members: Odilon Gomes Pereira and Paulo Roberto Cecon.

Two experiments were conducted using capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) cv. Cameroon, with the purpose of determining the quantitative and qualitative characteristics of effluent released, correlating this with levels of pressure and moisture content and the quality of silage. The material with two dry matter levels (experiment I - 13% and experiment II - 25%) was ensiled in small experimental plastic silos. The levels of pressure in the experiment I were: 356,67; 446,67; 531,33; 684,00 and 791,00 kg/m³ and in the experiment II: 294,67; 331,67; 387,00; 438,33 and 488,67 kg/m³. The effluent of silages with high moisture content was collected and measured during seven days. In experiment II the levels of ammoniacal nitrogen (6,0-10,4) and pH (3,84-3,89) resulted in silages with good quality. Alterations of levels of moisture, showed a reasonable improvement of quality of silage, when increased the level 13 to 25% of dry matter of the ensiled forage. In silages with high moisture content, for level of 356,67 kg/m³, were found proportional losses to those found in high pressure (791,00 kg/m³). In relation of minimum of total losses, in silages with

high moisture content, the pressure more desirable was 550,00 kg/m³, in this experimental conditions. For the silages with low moisture content, the losses were very low in comparison with silages of high moisture. In the experiment II, the effect of pressure resulted in small variation among treatments, and the treatment of high pressure 488,67 kg/m³ showed reduced lost of dry matter. The values of DOB₅ (14.596,69 mg/l), DQO (31.138,2 mg/l), DQO/DBO (2,38), pH (4,30), Mg (0,3997% DM) and Na (0,0008% DM) did not varied with pressure and number of days of collect. Content of P, K, level of ammoniacal nitrogen, total nitrogen, organic nitrogen, crude protein and total solids were influenced by pressure and number of days.

1. INTRODUÇÃO

Nos processos de conservação de forragens, ocorrem perdas de nutrientes de diversas magnitudes. Na ensilagem, a qualidade de silagem obtida está diretamente relacionada ao material que lhe deu origem e às condições em que o mesmo foi ensilado. Muitos estudos comprovam a qualidade da silagem em função da escolha da espécie ensilada, do conteúdo de açúcares solúveis existentes no material, dos cuidados na ensilagem, do grau de maturidade da forragem, mas muito pouca informação se tem a respeito das perdas de nutrientes que ocorrem pelo efluente.

O efluente contém grande quantidade de compostos orgânicos como: açúcares, ácidos orgânicos, proteínas e outros componentes provenientes do material ensilado, constituindo uma fonte nutricional para os diferentes microorganismos saprófitos que vivem em córregos e rios (McDONALD et al., 1991). Quando o efluente é escoado para cursos d'água, as substâncias nele contidas são utilizadas por microorganismos e, durante o processo, parte ou todo o oxigênio presente na água pode esgotar-se. A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) do efluente da silagem é excepcionalmente maior que a do esgoto doméstico, assim sendo, é considerada um sério poluente para lençóis de água, rios, etc. Além disso, o efluente é extremamente corrosivo, tornando difícil seu armazenamento em compartimentos não apropriados. Em vista disso, têm sido recomendadas várias formas de reaproveitamento, seja na

adubação de culturas ou na alimentação animal, e, na impossibilidade desta reciclagem, deve-se efetuar o tratamento do efluente.

O volume do efluente produzido em um silo é influenciado, principalmente, pelo conteúdo de matéria seca da espécie forrageira ensilada e o grau de compactação, além de outros fatores a que é submetido no silo, tais como: tipo de silo, pré-tratamento mecânico da forragem, dinâmica de fermentação, fertilização do solo, etc.

Inúmeros esforços têm sido efetuados para reduzir o risco ambiental do efluente, principalmente no exterior. No Brasil, pouco se tem feito para avaliar os aspectos qualitativos e quantitativos das perdas por efluente, durante a ensilagem, a fim de minimizar este problema .

Este trabalho teve como objetivos avaliar as características do efluente, bem como a qualidade da silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*), sob diferentes níveis de compactação e umidade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Efeito da compactação

Além do teor de umidade do material ensilado, a compactação do material influencia de forma direta a quantidade de efluente produzida. Outros fatores também contribuem de forma indireta na produção de efluente como, por exemplo, a profundidade e secção do silo.

Amos e Woodman (1922) observaram que uma maior quantidade de efluente foi descarregada de silos mais fundos do que de silos rasos, em decorrência de uma maior pressão encontrada nos silos mais profundos. Zimmer (1964) encontrou maiores perdas de MS no efluente de silos do tipo torre, em relação ao de trincheira, 9,5 e 7,0%, respectivamente. McDonald et al. (1960) avaliaram que a produção do efluente é maior, quando maiores pressões são exercidas. Kirsch et al. (1955) afirmaram que a quantidade de efluente produzida com uma pressão de 800 g/cm² era 10 vezes maior do que quando a pressão correspondia a 80 g/cm². Os autores acima foram citados por WOOLFORD (1984).

Diferenças significantes, na quantidade de efluente produzido, são obtidas quando uma forragem ensilada com baixo teor de matéria seca é submetida a pressões de compactação em silos experimentais. A ensilagem de materiais com alta umidade é um importante fator, dentre outros, para a produção do efluente.

ALLI et al. (1985) avaliaram, em silos laboratoriais, a quantidade de efluente produzido numa silagem mista de trevo vermelho e cevada (25,7% de MS) e em uma silagem de alfafa (26,0% de MS) sob quatro pressões (140, 280, 420 e 560 g/cm²), em diferentes períodos (nos primeiros estágios de fermentação com a forragem “fresca” e após o estágio inicial de fermentação, mais especificamente, após quatro dias de fermentação), adotando uma densidade de 643 kg/m³. Em outra etapa do experimento, estas mesmas forragens foram congeladas e descongeladas para serem ensiladas, sofrendo as mesmas pressões estabelecidas anteriormente, durante o período inicial de fermentação. Verificaram que, apesar de ambas as silagens possuírem conteúdo semelhante de matéria seca, a silagem de alfafa apresentou maior produção de efluente. A aplicação da pressão, após quatro dias de fermentação, revelou produção de efluente elevada, em ambas as silagens, tanto na mistura trevo vermelho e cevada, quanto na de alfafa, isto pode ser devido à ruptura de membrana celular da planta.

GREENHILL (1964a) sugeriu que o esgotamento da disponibilidade de oxigênio do material ensilado contribui para a ruptura da membrana celular da planta, facilitando, assim, uma maior perda de água nas células. Quando as condições experimentais (fermentação e descongelamento) afetam a membrana celular da planta, de modo geral, o comportamento da produção de efluente é similar, sugerindo assim que a integridade da membrana celular constitui um importante fator na quantidade de efluente produzido. Neste experimento, também foi observado que a produção de efluente ocorreu durante os primeiros estágios da ensilagem (primeiros cinco dias).

O'DONNELL et al. (1997) avaliaram os efeitos de pressão, em diferentes estágios após a ensilagem, nas propriedades mecânicas e na produção potencial de efluente de silagens de azevém. A forragem foi colhida e ensilada diretamente, sem compressão, em silos laboratoriais durante 75 dias. Neste período, em algumas ocasiões, a silagem era submetida a testes de compressões graduais em três níveis de pressões, durante um período de cinco horas, medindo-se a produção de efluente. No experimento 1, foi utilizado azevém italiano (*Lolium multiflorum*) com cortes uniformes e os seguintes níveis de pressão: 11,3, 16,9 e 22,5 kPa e, no segundo, o azevém perene (*Lolium perenne*) com cortes menos uniformes e os níveis de pressão: 5,7, 11,3

e 16,9 kPa. A umidade dos materiais foi de 81,5 e 85,6% para os experimentos 1 e 2, respectivamente. Verificou-se que a produção de efluente estava mais relacionada à deformidade (alterações de volume) do que à compressibilidade (deformação devido uma força aplicada). A matéria seca da silagem foi significativamente afetada pela pressão aplicada, ao contrário de sua composição (ácidos graxos, FDA, FDN, lignina e nitrogênio amoniacal).

PITT e PARLANGE (1987) sugeriram que a característica de viscosidade de uma silagem, que sofreu compressão, é devido exclusivamente à liberação do suco. A compressibilidade tende a aumentar com o decorrer do armazenamento, mas esse aumento não é contínuo nos estágios iniciais.

Segundo WINTERS et al. (1987), geralmente, ocorre alguma resistência na liberação do efluente nos estágios iniciais de ensilagem, a qual está relacionada à ruptura das membranas de células no processo de fermentação. Após a abertura do silo, verifica-se a imediata disponibilidade do efluente e a silagem completamente saturada de efluente no fundo do silo. A aparente fermentação restrita, em ambos os experimentos de O'DONNELL (1997), e o prolongado período de liberação de efluente, em baixas pressões, podem estar ligados. Um fornecimento adequado do suco, na superfície da forrageira, é necessário para a fermentação, assim como, para a atividade microbiana presente (MOON e HENK, 1980). Tanto a pressão, quanto o tempo de armazenamento afetam significativamente a produção de efluente.

A existência de uma relação entre a pressão aplicada e a produção de efluente foi sustentada pelos resultados de DAYNARD et al. (1978), que encontraram relação linear entre estes fatores. A hipótese na qual propõe o encerramento da produção de efluente, quando a composição da silagem se torna estável, é questionada, pois resultados de análises químicas mostram uma alteração gradativa e não-estável na composição química da silagem. Por outro lado, verificou-se o aumento da produção de efluente no decorrer dos dias e sua estabilização simultaneamente à composição da silagem.

O grau de compactação, normalmente realizado por compressão mecânica, é necessário para exclusão do ar e para estabelecimento das condições anaeróbias do silo. Enquanto alguns experimentos com silos laboratoriais têm apresentado efeitos significativos da pressão aplicada sobre a produção de efluente, existem evidências conflitantes sobre o efeito da

compactação em silos de escalas maiores. Kirsch et al. (1955) observaram que, aplicando-se uma alta pressão (800g/cm^2), o efluente poderia ser produzido por materiais com 40% de matéria seca. McDonald et al. (1960) mostraram uma relação não muito significativa entre pressão aplicada e quantidade de efluente produzido, em silos de menores escalas. Estes autores foram citados por JONES e JONES (1995).

GREENHILL (1964b) verificou que a pressão tinha pouco efeito sobre a consolidação da massa da silagem e, conseqüentemente, sobre a produção de efluente em silos de pequeno porte. Peters e Weissbach (1977), citados por JONES e JONES (1995), constataram, em uma série de experimentos com prensa hidráulica, que a produção de efluente aumentava com a pressão aplicada. A partir dos dados obtidos e cálculos de pressões verticais, estimaram a produção de efluente que poderia ser esperada de silos com diferentes alturas, considerando que todo efluente produzido poderia fluir livremente através da massa do silo. WOOLFORD (1984) concluiu que havia pouca evidência entre o efeito direto da pressão na produção de efluente em silos de porte maior. Jones e Jones (1989), citados por JONES e JONES (1995), aplicando uma compactação pesada (6,5 t) e leve (3,5 t), utilizando tratores, não obtiveram efeito sobre a produção total de efluente de silagem de azevém com 18% de matéria seca. Porém, no tratamento com elevada compactação, na primeira semana, houve aumento da produção de efluente de 11%.

REYNOLDS e WILLIAMS (1995) realizaram um trabalho para desenvolver um modelo matemático, estimando a compactação da silagem e o fluxo de efluente, com o objetivo de fornecer um entendimento quantitativo do processo envolvido na produção de efluente e, assim, estabelecer soluções científicas para problemas, como a utilização efetiva de absorventes. Este modelo tem sido utilizado para estimar a importância do conteúdo de matéria seca e a geometria do silo para a determinação da produção de efluente. A razão altura/diâmetro do silo exerce significativo efeito sobre a produção de efluente. O aumento da razão altura/diâmetro parece reduzir a taxa inicial de fluxo de efluente, prolongar o tempo de escoamento do efluente e aumentar o período entre o escoamento inicial e o pico de fluxo do efluente.

Outros modelos citados por REYNOLDS e WILLIAMS (1995) e PITT e PARLANGE (1987) têm sido utilizados para se estimar a produção de efluente em função da compactação. Contudo, de acordo com REYNOLDS e WILLIAMS (1995), estes modelos são baseados em descobertas empíricas sobre a compressão, não fornecendo, assim, o entendimento fundamental para melhor compreensão do processo.

PITT e PARLANGE (1987), desenvolvendo um modelo para as mudanças no conteúdo de umidade com o tempo, ligado ao atraso devido à ruptura da membrana de células da forragem ensilada em silos tipo torre, estabeleceram uma função linear decrescente entre o conteúdo de umidade final e a pressão aplicada, que variou de 67 a 50% em base de umidade para pressões entre 200 e 550 kPa. Estes autores observaram, ainda, dois tipos de comportamento no decorrer da produção de efluente. Quando a forragem é trazida do campo e contém a superfície úmida de orvalho, o efluente é produzido imediatamente após a aplicação de pressão. Após alguns minutos, a taxa de fluxo de efluente decresce de forma acentuada. O segundo tipo de comportamento ocorre quando a forragem trazida do campo não contém superfície úmida, neste caso, o efluente só é produzido depois de muitas horas, após a aplicação de pressão.

GREENHILL (1964a), em estudos com silagens de azevém e alfafa, observou que com a completa exclusão de ar no interior do silo, pode-se esperar, como resultado, a ruptura da célula em poucas horas. Langston et al. (1958), citados por GREENHILL (1964a), verificaram que o conteúdo de oxigênio da atmosfera, em silagens de silos lacrados, foi reduzido rapidamente durante as primeiras 2 horas, mas não completamente eliminado até 5 horas após a ensilagem do material fresco.

O excesso de água e a seiva das células da forragem são extraídos pela compactação exercida e percorrem como efluente através do material ensilado. A água é, também, produto da respiração, fermentação e oxidação que ocorrem no silo, porém não contribui significativamente na produção total de efluente. Desta maneira, a perda de efluente tende a crescer com o aumento do conteúdo de umidade e elevação da altura dos silos, considerando o tipo de estrutura. Não somente a forragem com baixo conteúdo de umidade

promove menos efluente como, também, a pressão é menor devido ao decréscimo do peso (GORDON, 1967).

VILELA et al. (1983) avaliaram a eficiência do acondicionamento a vácuo do capim-elefante em silos de superfície, em relação à compactação com trator, utilizando compactações de 449 e 489 kg/m³, respectivamente. Verificaram que o sistema de acondicionamento a vácuo promoveu represamento de água de lixiviação na parte inferior do silo, sobre a lona de plástico, estimulando as perdas por apodrecimento nesta região. O mesmo não ocorreu com o sistema convencional de compactação, uma vez que a parte inferior do silo continha material absorvente (30 cm de palhada de milho) que facilitou a drenagem do líquido. No entanto, Lancaster (1966), citado por VILELA et al. (1983), também utilizando forragem com elevado teor de umidade, não observou diferença no volume de perdas, quando comparou o sistema de acondicionamento a vácuo com outros convencionais. No experimento, VILELA et al. (1983), comparando estes dois sistemas, o acondicionamento a vácuo e a trator, em silos de superfície, também não observaram melhoria do valor nutritivo da silagem de capim-elefante, ensilado com baixo teor de matéria seca.

Quando se trata de efeito de pressão, a compactação aplicada no material ensilado pode ser importante, particularmente, em conteúdos de umidade relativamente baixos, em especial, quando ocorre a ruptura da célula vegetal. Porém, existem poucos trabalhos mostrando o efeito da pressão sobre o tempo necessário para que o rompimento celular do material ensilado se inicie (GREENHILL, 1964b).

2.2. Efeito do conteúdo de matéria seca

Pelo fato da produção de efluente ser diretamente proporcional ao conteúdo de umidade da forragem ensilada, diversos autores propuseram algumas equações de regressão; tendo como objetivo estimar a quantidade de efluente produzido, em função do teor de matéria seca presente na forragem. Sutter (1957), citado por JONES e JONES (1995), propôs uma equação na qual o volume do conteúdo de efluente produzido (V_s , em l/t de silagem) pode

ser obtido através do conhecimento do conteúdo de matéria seca da cultura (MS, g/Kg), no início da ensilagem, pela fórmula : $V_s = 669,4 - 2,24MS$.

Zimmer (1967), citado por WOOLFORD (1984), usou como referência o peso do efluente (W, em kg/t de silagem), em que $W = 832,6 - 5,418MS + 0,00883MS^2$ e MS é o conteúdo de matéria seca do material ensilado (MS, em g/Kg). BASTIMAN (1976) propôs a seguinte fórmula: $V_n = 767 - 5,34MS + 0,00936MS^2$, em que V_n é o volume do efluente em L/t e MS é o conteúdo de matéria seca do capim em g/Kg. Das equações acima, observa-se que os valores mínimos de matéria seca para produção de efluente estão na faixa de 29 a 30 % de MS. Porém, a produção de efluente não deve ser considerada avaliando-se somente o conteúdo de matéria seca por meio destas equações, outros fatores que influenciam a produção de efluente podem ser destacados.

Para o cálculo da matéria seca perdida da forragem com a liberação do efluente, MILLER e CLIFTON (1965) propuseram a seguinte equação: $Y = 17,614 - 0,538MS$, em que Y é a matéria seca total perdida no efluente em percentagem e MS é a matéria seca da forragem a ser ensilada (MS, g/Kg).

Um dos fatores limitantes para o uso de absorventes é a imprevisibilidade da extensão de retenção do efluente (JONES e JONES, 1996). Daí a importância em se estimar a produção de efluente.

A maturidade e umidade recomendadas para a forragem ensilada variam conforme a espécie. Quando adequada, a umidade auxilia na compactação do material, promovendo o estabelecimento de um ambiente anaeróbio no silo (MAHANNA, 1993).

Ensilar a gramínea nova, com alto teor de umidade, acarreta uma perda média de 6% de matéria seca total sob a forma de efluente (Waston e Nash, 1960, citados por FISHER et al., 1981). MILLER e CLIFTON (1965) assinalaram que o valor de matéria seca perdida no efluente aumenta com a elevação do conteúdo de umidade do material ensilado. CASTLE e WATSON (1973), baseados em observações de 38 silos, calcularam que a produção de efluente era praticamente nula, quando a matéria seca da forragem ultrapassava 23%. Mas, este fato não deve ser considerado isoladamente, pois outros fatores como compactação, espécie forrageira e aditivos, além do conteúdo de matéria seca, influenciam nas perdas de nutrientes pelo

escoamento de efluente. Moore e Walker (1961), citados por FISHER et al. (1981), estimaram que, ensilando 500 toneladas de capim com 17% de MS, ocorreria uma perda de 150 toneladas de efluente.

JONES e JONES (1995), em uma revisão sobre o efeito das características da cultura e metodologia de ensilagem de capim e produção de efluente, verificaram que os resultados entre experimentos, considerando os efeitos da compactação e pré-tratamento, são contraditórios, utilizando silos laboratoriais e silos de grande porte. Assim sendo, o desenvolvimento de mais modelos e equações para estimativa da produção de efluente exigem maiores informações, principalmente sobre os mecanismos de liberação de efluente do tecido de plantas e seu fluxo através da massa no silo.

A produção inicial do efluente parece estar relacionada ao rompimento da estrutura da planta, ou seja, à alteração da integridade estrutural e ao começo da fermentação (PITT e PARLANGE, 1987; GREENHILL, 1964a). A seqüência das etapas consideradas neste processo são: 1) início da fermentação; 2) estabelecimento das condições anaeróbias devido à acomodação e compactação; 3) perda da integridade estrutural; 4) rompimento de células devido às alterações osmóticas e, ou, efeito de ácidos; e 5) liberação de efluente. Uma vez liberado o efluente dos tecidos, este percola através da forragem ensilada no silo. Isto, porém, nem sempre é verificado. Materiais muito úmidos, mais novos ou finamente cortados são facilmente compactados, formando uma massa esponjosa impermeável, que dificulta o escoamento do efluente, enquanto que materiais mais secos, de idade mais avançada ou com cortes mais longos, compactam menos e permitem melhor escape do efluente (WOOLFORD, 1984).

Existem evidências experimentais de que o volume de efluente produzido, durante a ensilagem, seja inversamente proporcional ao conteúdo de matéria seca do material ensilado, embora o grau de compactação e condição da forragem sejam outros fatores controladores importantes da produção de efluente.

Resultados experimentais têm mostrado que existe uma relação muito próxima entre o tempo, quando se inicia a perda da turgescência da massa ensilada, e o início da ruptura da célula vegetal e liberação da seiva. A

liberação da seiva, também, indica o aumento da condutividade elétrica da silagem.

Elevados conteúdos de umidade favorecem o desenvolvimento de anaeróbios fermentativos lácticos e a produção de ácido butírico, além de resultar em altas perdas por efluente. Por outro lado, quando a forragem possui conteúdo de umidade muito baixo, a ensilagem não é bem feita, devido à dificuldade de se compactar esse material suficientemente para promover uma adequada remoção de ar (GREENHILL, 1964b).

2.3. Efeitos da espécie forrageira, fermentação, aditivos, pré-tratamento e fertilização

A capacidade de reter a umidade difere entre variedades e espécies de plantas. Mo (1975), citado por JONES e JONES (1995), encontrou maior produção de efluente na silagem de azevém italiano tetraplóide do que na silagem de variedade diplóide com um mesmo conteúdo de MS. Cultivares tetraplóides, com alto conteúdo de umidade, perdem água mais lentamente que cultivares diplóides (BORREANI e TABACCO, 1998).

O tipo de fermentação da silagem tem sido sugerido como outro fator importante na produção do efluente, pois silagens bem preservadas produzem menor quantidade de efluente, quando comparadas a silagens de baixa qualidade. Contudo, esta fermentação indesejada pode estar associada ao excesso de umidade da cultura. Assim, a produção de efluente seria, em grande parte, relacionada ao conteúdo de umidade e, não, à fermentação (WOOLFORD, 1984).

HAIGH (1998), avaliando o efeito de aditivos (ácido fórmico, ácido sulfúrico, líquido inoculante e uma cultura microbiana) na fermentação e produção de efluente em silagens mistas de azevém perene (*Lolium perene*) e trevo branco (*Trifolium repens*), silagens de azevém perene (*Lolium perene*) e silagens mistas de azevém perene (*Lolium perene*) e azevém italiano (*Lolium multiflorum*), observou que a produção de efluente foi maior em silagens que sofreram tratamento ácido, mas o efeito não foi significativo. Verificou, ainda, que o efluente proveniente de silagens com “acid-salt-type” possuía altos

valores de matéria seca e carboidratos solúveis, quando comparado aos demais tratamentos.

Segundo ROTZ e MUCK (1994), silagens de alfafa, que sofreram secagem para reduzir o conteúdo de umidade (650 Kg/g de umidade), não apresentaram perdas de matéria seca pelo efluente, a maior parte das perdas foram causadas por deterioração aeróbica.

O tratamento mecânico da forragem também influencia a produção de efluente. GORDON et al. (1958) verificou maior produção de efluente em silagens de alfafa que sofreram maceração, após cortes de 0,794 cm de comprimento, do que em silagens que foram cortadas com 7,62 cm. Em uma comparação entre cortes pequenos e grandes de *Dactylis glomerata* com baixo teor de umidade, McDonald et al. (1964), citados por McDONALD (1981), verificaram que, em cortes menores, o fluxo de efluente era maior e mais do que o dobro de matéria seca era perdido no efluente. Messer e Hawkins (1972), citados por McDONALD et al. (1991), examinaram o efeito do comprimento do corte em silagem de milho com 20% de matéria seca e encontraram uma produção de efluente de 53 l/t de forragem fresca, quando o comprimento do corte era de 6 mm, e 27 l/t, quando o comprimento do corte era de 32 mm. Contudo, o mesmo não ocorreu em silagens de festuca silvestre e trevo branco com 18-19 % de matéria seca, a produção de efluente foi maior, em silagens cuja forragem não foi picada, em relação ao material que foi picado (JONES e JONES, 1995). De qualquer forma, vale lembrar que os efeitos deste fator sobre a produção de efluente são fortemente influenciados pelo conteúdo de matéria seca da forragem e, principalmente, pela espécie forrageira.

O efeito do nitrogênio como fertilizante na redução do conteúdo de umidade da forragem é bem conhecido. Mo (1975), citado por JONES e JONES (1995), revelou que o conteúdo de matéria seca diminui com elevadas adubações nitrogenadas, quando comparado às adubações moderadas e baixas. Assim, a maior produção de efluente é verificada em silagens de forragens que sofreram elevadas adubações nitrogenadas.

2.4. Características do efluente

O maior volume de efluente ocorre no período inicial da ensilagem. Isso foi verificado em um estudo sobre o fluxo de efluente, em que BASTIMAN (1976), utilizando 11 silagens, observou que o pico do fluxo ocorria na primeira semana e quantidades diárias de 29 l/t foram registradas para materiais com um conteúdo de MS abaixo de 16%. Silagens contendo 25% de MS produziram somente 45% do total do efluente, nos primeiros 20 dias, enquanto verifica-se um aumento de 90% para materiais ensilados com um conteúdo de MS de 16%. Na realidade, o autor utilizou um número maior de silagens no experimento, contudo como não era possível retirar amostras do efluente para todas as silagens, uma vez que a quantidade do efluente nem sempre era suficiente para ser registrada, as observações foram baseadas somente nas amostras de 11 silagens. Jones et al. (1990), citados por JONES e JONES (1995), observaram, no segundo dia, o pico da produção de efluente da silagem de azevém com 16% de matéria seca. Metade do total do efluente foi produzido na primeira semana e 80%, nas primeiras seis semanas e, posteriormente, ainda foi verificado um lento e contínuo vazamento de efluente no decorrer do armazenamento.

A composição química do efluente é influenciada: pela composição da seiva, mudanças resultantes da fermentação e por mudanças decorrentes de sua descarga. Uma proporção razoável do conteúdo de carboidratos solúveis do material inicialmente ensilado irá aparecer no efluente, e maiores concentrações estarão presentes na descarga do efluente nos estágios iniciais da ensilagem. Em silagens com fermentação adequada, o pH do efluente será próximo ao da silagem no momento da descarga, embora possam ocorrer algumas alterações químicas e microbiológicas (WOOLFORD, 1984).

Com exceção dos carboidratos solúveis e, possivelmente, da proteína verdadeira, a maior parte dos componentes do efluente aumenta com o tempo, especialmente os produtos da fermentação, como o ácido láctico e o ácido acético. As perdas de carboidratos solúveis, particularmente de silagens muito úmidas, podem ser altas; e o esgotamento deste material prontamente fermentável é um fator importante que influencia no tipo de fermentação, sendo predominantemente láctica ou butírica (McDONALD, 1981).

GORDON (1967), em uma revisão sobre perdas no armazenamento em silagens, relatou que as perdas totais podem ser determinadas através das diferenças (conteúdo de matéria seca, proteína, etc.) entre o material armazenado e o material removido. O conteúdo de matéria seca perdido, durante a ensilagem, apresenta três possíveis rotas de escape: pode ser perdido através da forma líquida (lixiviação ou efluente); pode ser deteriorado e, assim, tornar-se inadequado para alimentação animal ou, então, pode ser perdido através da forma gasosa (CO_2 , NH_4 ou CH_4). As perdas por lixiviação e deterioração podem ser medidas através da pesagem direta e análise destas frações. A medição direta das perdas por gás dos silos de grande escala não é muito fácil de se realizar, entretanto esta perda é calculada através da diferença entre a quantidade de componentes encontrados no efluente, na deterioração e na silagem, e a quantidade de componentes do material original ensilado.

Segundo WOOLFORD (1984), a perda de matéria seca da silagem pelo efluente envolve valores entre 5 a 10%. Trabalhos da Universidade de Cornell relataram perdas de 6,8-8,7 % de matéria seca da silagem de trevo e alfafa armazenada com 77-85% de umidade em silos tipo torre com aproximadamente 9,1 m. Altas perdas, 12 e 13% de matéria seca, foram registradas por GORDON et al. (1957) em silagens de gramínea e trevo com 85 % de umidade em silos tipo torre com 7,6 m.

FORAGEMS cortadas nos estágios iniciais de crescimento ou durante tempos chuvosos podem produzir grande quantidade de efluente, quando diretamente ensiladas. Nos primeiros dias de ensilagem, ocorre o escoamento de efluente, com uma taxa de pico de fluxo por volta de 15 l/t dia de uma forragem com aproximadamente 18 % de matéria seca. O valor total produzido varia entre 50 a 300 l/t de forragem. A pré-secagem da forragem reduz a produção do efluente ou, até mesmo, elimina quando as condições do tempo são favoráveis.

Uma forma de utilização do efluente seria lançá-lo sobre a terra após uma diluição de, no mínimo, 1:1. O efluente é extremamente ácido ao natural e pode queimar a pastagem ou outras culturas, especialmente em climas quentes e secos. Além disso, a alta demanda bioquímica de oxigênio pode

exaurir o oxigênio do solo, afetando o crescimento da planta (GALANOS et al., 1995).

O efluente também pode ser usado na alimentação de suínos e bovinos como uma fonte de suplementação alimentar. Alguns trabalhos recentes relatam que vacas leiteiras são capazes de consumir quantidades substanciais de efluente, tornando-se, assim, uma forma de utilização viável e de baixo custo. O efluente pode, ainda, ser estocado por mais de um ano com adição de 0,3% de formalina, porém tem sido anti-econômico, armazenar para depois utilizar. O tratamento biológico do efluente, também, é verificado como outra forma de manejo em alguns trabalhos científicos.

GALANOS et al. (1995), em um experimento sobre tratamento aeróbio de efluente, verificaram as seguintes variações na determinação da composição de quatro tipos de efluente, provenientes de silagens da mesma espécie forrageira, cortada em diferentes épocas (em junho e julho de 1990 e junho e julho de 1991): no caso da demanda bioquímica de oxigênio, obteve-se a variação de 54.600 a 72.500 mg/l; o nitrogênio total de 3.670 a 4.120 mg/l; a proteína de 18.500 a 20.100 mg/l; o pH de 4,2 a 4,7 e a matéria seca de 42.500 a 61.300 mg/l. Os valores do pH para o efluente coletado em um mesmo ano não variaram muito (4,5-4,7 e 4,2-4,4). Isto pode ser devido ao aumento paralelo dos constituintes, ácidos (ácidos graxos voláteis, ácido láctico) e alcalinos (nitrogênio volátil).

No caso da matéria seca, há grande variação dos valores encontrados em diversos trabalhos. McDonald e Dewar (1960) obtiveram uma variação de 27.000 a 92.000 mg/l, enquanto que Jones e Jones (1992), ambos autores citados por GALANOS et al. (1995), registraram 10.000 a 110.000 mg/l. Muitos pesquisadores como Patterson e Walker (1979), citados por WOOLFORD (1984), relatam que o conteúdo de MS do efluente pode variar entre 10 a 100 g/kg, sendo geralmente de 60 g/kg. Afirmam, igualmente, que o conteúdo de MS do efluente seja formado de 20% de compostos nitrogenados, 55% de não-nitrogenados e 25% de matéria mineral.

O efluente possui alta demanda bioquímica de oxigênio, em média aproximadamente 60.000 mg/l. McDONALD (1981) verificou que a demanda bioquímica de oxigênio variava na literatura de 40.000 a 90.000 mg/l. A produção de efluente é bastante diversificada e pode ser o fator responsável

por 25% dos incidentes de poluição de água na agricultura, em épocas úmidas de colheita, quando comparado a 14 % em épocas secas. Existem evidências de que o uso de fertilizantes nitrogenados produz gramíneas com um baixo teor de matéria seca. Quando se ensila com aditivos, há aumento da produção de efluente, mas os efeitos de compactação e de pré-tratamento mecânico não são claramente demonstrados. Na Inglaterra, alguns dos principais fatores para o aumento da poluição de efluente são: o aumento na quantidade de silagens produzidas nos últimos 20 anos, a inadequada conservação dos silos, a realização de cortes em estágios iniciais de desenvolvimento da forrageira e as dificuldades para a pré-secagem da forragem no campo (áreas onde a chuva e a umidade são altas, como na região oeste do país).

HAIGH (1994) cita outras particularidades provocadas pelo aumento deste poluente. Dentre as que merecem destaque, cumpre assinalar: o conteúdo de matéria seca da forragem a ser ensilada que vem sofrendo redução; o pequeno número de máquinas adequadas para cortar as forragens disponíveis aos fazendeiros; o aumento da altura dos silos cilíndricos, aumentando assim a pressão e, conseqüentemente, a produção de efluente; o aumento do uso de fertilizantes nitrogenados e o uso de determinados aditivos. Esse mesmo autor, em 1997, em um trabalho sobre conteúdo de matéria seca e a produção de efluente prevista, utilizou a equação de regressão proposta por BASTIMAN (1976) para o cálculo da quantidade de efluente produzido em função do conteúdo de matéria seca, que variou conforme o corte e a espécie forrageira, usando silagens de capim, milho e grãos, produzidas na Inglaterra, nos anos de 1984 a 1994. Nessa equação de BASTIMAN, verifica-se que muito pouco de efluente é produzido, quando a forragem é ensilada com um conteúdo de matéria seca de 250 g/kg e, praticamente, cessa sua produção, quando o conteúdo de matéria seca é de 290 g/kg. A produção de efluente no primeiro, segundo e terceiro cortes do capim foi de 65,3%, 23,4% e 4,4%, respectivamente. Para o cálculo da produção de efluente, constatou-se que as silagens de milho e grãos produziram uma quantidade bem menor de efluente do que a silagem de capim.

FISHER et al. (1981), estudando as características quantitativas e qualitativas do efluente proveniente de silagens de gramíneas com alto teor de

umidade, verificaram que o conteúdo de matéria seca do efluente tinha apresentado, aproximadamente, um terço do valor de matéria seca do material ensilado e a proteína presente no efluente estava mais relacionada ao conteúdo de proteína da forragem. O total de matéria seca perdida no efluente, expressa em percentagem de matéria seca ensilada, foi de 8,26, 4,97, 4,62 e 2,3%, enquanto que a perda de proteína foi de 10,1, 6,1, 5,8 e 3,2% para a forragem ensilada com 15,7, 17,0, 20,0 e 24,4% de matéria seca respectivamente. Não houve diferença aparente entre o conteúdo de matéria seca do efluente e a composição de silagem. Quando os dados do conteúdo de nutrientes do efluente foram apurados, e a relação entre percentagem de matéria seca do efluente e nutrientes foi estimada por análises de regressão, verificou-se a forte ligação entre estes dois fatores. Já o conteúdo de cinzas não foi influenciado pela percentagem de matéria seca do efluente. A quantidade de cinza na matéria seca do efluente foi, praticamente, mais do que o dobro do conteúdo de cinzas da forragem. Em relação a isso, o alto conteúdo de cinzas na matéria seca do efluente, quando comparada ao da forragem, indica que houve uma perda diferencial de minerais no material ensilado. Foi observado ainda que, aproximadamente, 75% do total do fluxo do efluente tinha ocorrido nos primeiros cinco dias após a ensilagem. MAYNE e GORDON (1986) verificaram que a produção é maior na primeira semana e, depois, com o decorrer do tempo de armazenamento, diminui. Já o conteúdo de proteína do efluente tinha variado de 1,1 % a 2,4 % do primeiro ao último dia de fluxo; o conteúdo de carboidratos solúveis apresentava, em média, 26,9 g/l no primeiro dia de amostragem do efluente e, 5,9 g/l, no último. As cinzas do efluente tinham permanecido relativamente constantes com o tempo, mas tinham variado de 18 a 30 %, dependendo do tipo de material ensilado.

O valor do pH pode ser considerado como uma forma de medição do estágio de preservação do efluente, indicando alterações no conteúdo de ácidos orgânicos. O pH baixo retarda as alterações microbianas e enzimáticas. Quando se inicia o desenvolvimento de fungos, o pH aumenta rapidamente e, quando chega a 5,0, ocorre uma alteração no aspecto do efluente para uma consistência lodosa. Esta consistência sugere o aumento da atividade bacteriana. O valor de pH abaixo de 4,0, em silagens, controla a quebra de proteínas e a proliferação de organismos esporádicos (PATTERSON e

WALKER, 1981). Semelhantemente, o efluente que possui um pH por volta de 5,9 requer acidificação para pH 3,0, a fim de estabilizar a fração de proteína (Cheeseman, 1977, citado por PATTERSON e WALKER, 1981). A degradação da proteína irá produzir nitrogênio amoniacal. Portanto, a medição desse produto final nos fornece uma informação importante sobre a degradação da proteína e, conseqüentemente, o grau de conservação do efluente. A determinação da biomassa, também, é incluída como outra medida para se avaliar o grau de preservação do efluente, já que esta funciona como indicador de atividade microbiana.

A maioria dos dados obtidos por inúmeros trabalhos sobre minerais do efluente, dentre eles os de Stewart e McCullough (1974) e Patterson e Walker (1979), citados por WOOLFORD (1984), refere-se a P, K, Na, Ca e Mg, com valores de: 0.3 - 1.2, 1.05 - 5.15, 0.34 - 0.77, 0.39 - 1.60 e 0.23 - 0.41 g/kg, respectivamente.

PURVES e McDONALD (1963), em um estudo sobre o potencial do efluente como fertilizante, avaliando sua composição em relação aos minerais N, P, K, Ca e Mg, verificaram que o conteúdo de matéria seca do efluente é um importante fator caracterizando seu valor nutritivo para as plantas. Por exemplo, quanto maior a matéria seca do efluente, maior o conteúdo de minerais como N, P e K. Neste experimento, examinando o conteúdo de minerais, pôde-se constatar que o conteúdo de K, Ca e Mg foi em proporções semelhantes ao encontrado na própria forragem. Pode-se esperar, com base na matéria seca, que o efluente seja mais rico em elementos minerais que a forragem, e é claro que, onde grandes quantidades de efluente são produzidas, a perda de minerais representa uma razoável fração do conteúdo mineral da forragem ensilada. Por causa desta alta perda de minerais no efluente, é razoável considerar que o conteúdo mineral da silagem tenha menor valor do que o encontrado na forragem original. Em alguns estudos, isto tem sido verificado, embora outras pesquisas tenham mostrado que a concentração da cinza na silagem é maior do que na forragem original (McDONALD, 1981).

2.5. Características da silagem

De acordo com SILVEIRA et al. (1979), o termo “qualidade da silagem” não é usado para determinar o seu valor nutritivo, e sim, para descrever até que ponto o processo fermentativo ocorreu de maneira desejável. Os parâmetros mais utilizados para avaliar qualitativamente as silagens são os ácidos orgânicos, o pH e o nitrogênio amoniacal.

Porém o pH não deve ser, isoladamente, considerado como um critério seguro para a avaliação das fermentações ocorridas no silo, pois seu efeito inibitório sobre as bactérias depende da velocidade do abaixamento da concentração iônica e do grau de umidade do meio (McDonald et al., 1960). Quanto mais baixo o pH de silagens excessivamente aquosas, tanto maior a probabilidade de se obter um produto livre de fermentações indesejáveis (De Vuyst e Vambelle, 1969).

Para o nitrogênio amoniacal, têm-se as seguintes classificações das silagens, conforme os autores Carpintero et al. (1969): satisfatória, quando o nitrogênio amoniacal é menor que 11,0. Toth et al. (1956) classificam em: muito boa (0,0-12,5); boa (12,6-15,0); média (15,1-17,5); ruim (17,6-20,0); e péssima acima de 20,1 (estes autores foram citados por SILVEIRA et al., 1979). BENACHIO (1965): muito boa (0,0-10,0); boa (10,0-15,0); aceitável (15,0-20,0); e ruim acima de 20,0.

Ao ensilar o capim-elefante cortado aos 50-60 dias de desenvolvimento, os fatores básicos e limitantes na conservação do material são: o teor excessivo de umidade que, no ponto de corte, situa-se na faixa de 82 a 85 %, o baixo teor de carboidratos e o alto poder tampão. Estes fatores influem negativamente sobre o processo fermentativo, impedindo um rápido decréscimo do pH a níveis adequados (LAVEZZO, 1985); e, também, a aplicação da uréia para o enriquecimento protéico (FARIA, 1994).

Apesar disso, existem muitos trabalhos que indicam a possibilidade de obtenção de silagens experimentais de capim-elefante de qualidade razoável sem a utilização de aditivos (LAVEZZO, 1985; TOSI et al., 1983; SILVEIRA et al., 1979).

A restrição da respiração celular ou queima de carboidratos solúveis da planta evita a principal causa de aquecimento e degradação de nutrientes de

silagem. A fermentação bacteriana aeróbica cessa, e os açúcares disponíveis são melhor utilizados na produção de ácido láctico, proporcionando, assim, uma preservação efetiva da silagem. Todavia, o sucesso da técnica depende da compressão exercida pela pressão atmosférica sobre a forrageira ensilada, sendo maior a eficiência, quanto melhor for o selamento do silo.

TOSI et al. (1983), em estudo com silagem de capim-elefante cultivar Taiwan AI-48, verificaram que a umidade excessiva foi responsável por intensa degradação protéica (20,22% de NH_3/N) na silagem controle (sem emurchecimento e sem melaço), entretanto, apresentou 17,59% de ácido láctico, apenas 0,078 % de butírico na matéria seca e pH de 3,78. A silagem apresentava uma densidade de 446 kg/m^3 e 13,46% de conteúdo de matéria seca. Na avaliação química sob três diferentes níveis de umidade, 14,84; 18,63; e 21,20% de matéria seca, com as densidades 464, 406 e 359 kg/m^3 , respectivamente, obtiveram os seguintes dados: ácido láctico 16,55; 15,29; e 12,44%; ácido acético 2,25; 2,27; e 2,52%; ácido butírico 0,063; 0,040; e 0,022%; ácido propiônico 0,460; 0,447; e 0,322%; NH_3/N 20,26; 18,72; e 14,54% e pH 3,77; 3,91; e 3,90.

O valor comum da concentração do ácido láctico de silagens sem uma pré-secagem é, aproximadamente, 100g/kg de MS, mas a real concentração requerida para produzir uma silagem de boa qualidade irá depender do conteúdo de umidade da forragem (McDonald et al., 1991, citados por O'DONNELL et al., 1997).

A melhor conciliação entre requerimento de fermentação de uma silagem e a exigência ruminal é um comprimento de corte entre $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{2}$ ", denominado como "theoretical length of chop", que irá sofrer algumas variações, dependendo da espécie forrageira. No caso de capim, a recomendação é de $\frac{1}{4} - \frac{3}{8}$ " (MAHANNA, 1993).

MACHADO e MÜHLBACH (1986) verificaram os seguintes valores para silagens de capim-elefante cv. Cameroon, com 120 dias de idade, preparado sem emurchecimento, ou seja, colhido e, imediatamente, picado e ensilado: 19,7% de matéria seca; 6,43% de proteína bruta; 35,49% de fibra bruta; 89,19% de matéria orgânica; 10,81% de cinzas; e 11,17% de carboidratos solúveis.

Tomando-se o valor nutritivo e as características qualitativas da silagem do capim-elefante como parâmetro de avaliação, verifica-se que apesar das características limitantes para a conservação dessa forrageira tropical, a expectativa de eficiência da silagem pode ser considerada satisfatória. A observação de alguns detalhes no procedimento de ensilagem, como comprimento do corte e grau de compactação, pode fazer grande diferença na potencialização do processo fermentativo para a melhoria da qualidade da silagem.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local, época de realização e material utilizado no experimento

Dois experimentos foram conduzidos nas dependências do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Minas Gerais, no período de 13 de maio a 17 de setembro do ano de 1998.

Silos experimentais em tubos de PVC, cujas dimensões eram: 75 e 25 cm de altura e diâmetro, respectivamente, foram dispostos em bancadas de madeira. Estes silos foram devidamente lacrados com silicone, tampas de madeira e sacos plásticos e, em sua parte inferior, havia uma tubulação por onde foi feito o escoamento do efluente. Abaixo dos silos, foram colocadas garrafas de plástico devidamente identificadas para a coleta do fluido. Esta estrutura e disposição dos silos laboratoriais estão ilustradas na Figura 1.

O material ensilado foi o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cv. Cameroon (Quadro 1), cortado manualmente, no período da manhã, com dois teores de matéria seca : Experimento I - planta mais nova, com teor de 13,0% matéria seca e, aproximadamente, 180 cm de altura; Experimento II - planta mais velha, com teor de 25,0% matéria seca e altura acima de 200 cm. O capim foi picado em tamanhos que variaram de 6,35 a 12,7 mm. Logo após, para cada idade, o material a ser ensilado foi amostrado



Figura 1 - Estrutura e disposição dos silos.

Quadro 1 - Composição química do capim-elefante utilizado na ensilagem com 13% e 25% de matéria seca

VARIÁVEIS	13% MS	25% MS
Matéria seca	13,350	25,440
CHO (%)	9,083	11,391
Proteína bruta MS (%)	11,860	7,702
Digestibilidade MS (%)	60,941	47,254
PH	5,616	5,592
FDA MS (%)	43,168	39,512
FDN MS (%)	68,670	73,700
Cinza MS (%)	8,183	5,441
Fósforo MS (%)	0,234	0,196
Cálcio MS (%)	0,322	0,303
Sódio MS (%)	0,019	0,015
Magnésio MS (%)	0,219	0,270
Potássio MS (%)	4,730	1,499

para determinação da matéria seca e composição químico-bromatológica. As amostras, colocadas em sacos plásticos, foram armazenadas em freezer a

-20°C. No Quadro 2, encontram-se as cinco compactações realizadas para os dois experimentos, feitas manualmente, com três repetições. As pressões foram calculadas em função do peso do material ensilado kg/m³.

Quadro 2 - Níveis médios de compactação aplicados no material ensilado e quantidade de material colocado dentro dos silos experimentais, em função de dois níveis (13% e 25%) de matéria seca

Compactações (kg/m ³)	Nível de MS (%)	Material ensilado (Kg)
356,67	13	13,19
446,67		16,52
531,33		19,67
684,00		25,33
791,00		29,27
294,67	25	10,88
331,67		12,29
387,00		14,31
438,33		16,16
488,67		18,09

3.2. Coleta e processamento das amostras

Para cada silo experimental, o conteúdo do material a ser ensilado foi pesado, conforme as quantidades anteriormente citadas, na seqüência da maior compactação para a menor, para as três repetições, fazendo-se em seguida o fechamento dos silos.

Durante os sete primeiros dias, o volume do efluente foi coletado duas vezes ao dia, uma, pela manhã, e outra, no final da tarde. O volume do efluente de cada tratamento foi medido com auxílio de uma proveta e, logo após, armazenado em freezer a - 20°C.

Terminado o período de coleta do efluente, as tubulações de escoamento foram vedadas com fita adesiva. Após 125 dias de armazenamento, o conteúdo de silagem de cada silo foi pesado e, logo em seguida, realizou-se a abertura dos silos; todo conteúdo de cada silo experimental foi despejado sobre uma lona plástica e misturado, uniformemente. Posteriormente, fez-se a coleta das amostras das silagens para determinação da composição químico-bromatológica.

As análises do material ensilado e da silagem foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia (DZO) e as análises relacionadas ao efluente, na Estação de Tratamento de Água (ETA) da Universidade Federal de Viçosa.

3.3. Análises químico-bromatológicas

As amostras do material ensilado e da silagem foram liofilizadas e moídas para a realização das seguintes análises: matéria seca (MS), minerais (P, Mg, Ca, Na, K), proteína bruta (PB) pelo método semi-micro Kjeldahl, carboidratos solúveis, pH, fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) e o nitrogênio amoniacal expresso como percentagem do nitrogênio total, segundo SILVA, 1990; granulometria, segundo ANSI/ASAE (1993). O efluente foi analisado para verificação dos elementos: minerais (P, Mg, Ca, Na, K), utilizando o espectrofotômetro, segundo SILVA (1990); a demanda biológica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), pH e nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico e sólidos totais ou matéria seca, segundo SILVA (1977).

A densidade das silagens foi determinada pela relação peso líquido das silagens e volume interno dos silos experimentais.

3.4. Delineamento experimental e análises estatísticas

As variáveis da silagem: matéria seca (MS), minerais (P, Mg, Ca, Na, K), proteína bruta (PB), carboidratos solúveis, pH, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) foram estudadas para cada teor de matéria seca (13% e 25%) em ambos os experimentos, adotando-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com três repetições. Os dados foram interpretados estatisticamente por meio de análise de variância e de regressão. Os modelos foram escolhidos baseados no coeficiente de determinação e na significância dos coeficientes de regressão, adotando-se o nível até 10% de probabilidade, utilizando-se o teste “t”. Para as variáveis do efluente: minerais (P, Mg, Ca, Na, K), demanda biológica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), pH e nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico e sólidos totais ou matéria seca, os tratamentos foram dispostos num esquema de parcela subdividida, tendo, nas parcelas, as compactações (356,67; 446,67; 531,33; 684,00 e 791,00 kg/m³) e, na subparcela, os dias de coleta do efluente (1,2,3,4,5,6,7) em delineamento inteiramente ao acaso com três repetições. Os dados foram analisados, utilizando a metodologia da superfície de resposta. Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão, adotando-se o nível até 10% de probabilidade, utilizando-se o teste “t”, e no coeficiente de determinação calculado através da soma de quadrados de regressão dividido pela soma de quadrado de tratamentos:

$$R^2 = \frac{SQ_{regressão}}{SQ_{tratamento}}$$

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa SAEG (Sistema da Análises Estatística e Genética), desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

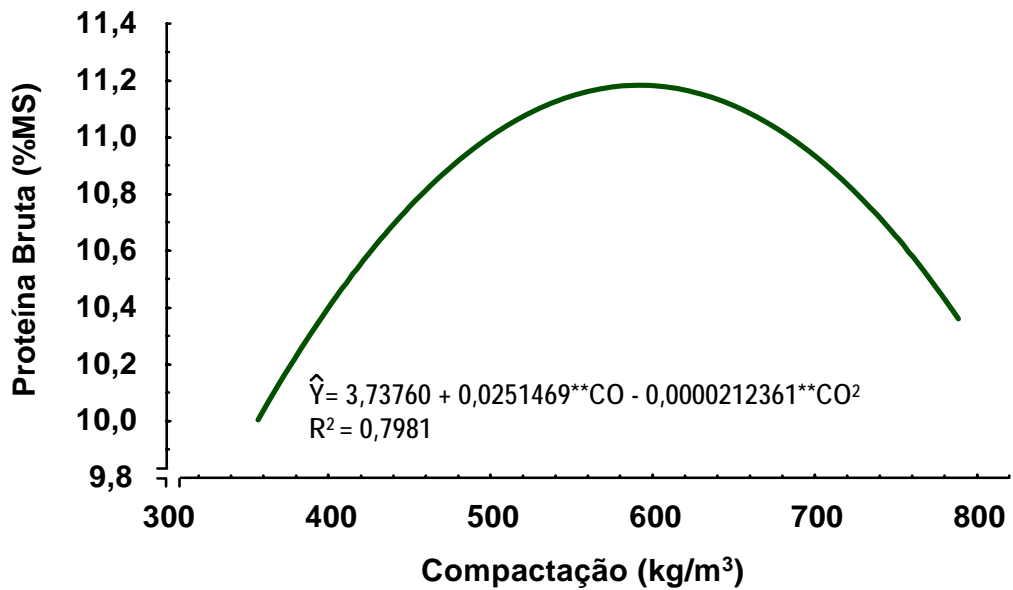
4.1. Experimento I - Característica das silagens utilizando capim-elefante com 13% de matéria seca

O capim-elefante utilizado com esse nível de umidade apresentou valor médio de 9,08% de carboidratos solúveis (%MS), o que indica uma grande probabilidade de ocorrência de fermentação secundária na silagem, devido ao baixo teor de MS e de CHO na planta (VILELA, 1989). Apesar do elevado teor de umidade, as silagens não apresentaram odor desagradável e sua coloração era de verde intenso semelhante à do material original. Nas camadas próximas às extremidades do silo, ocorreu certa deterioração aeróbia, acarretando, assim, má preservação da silagem nessas faixas.

Também, foi verificada uma maior umidade no material localizado na parte inferior do silo.

4.1.1. Matéria seca e proteína bruta

Para o teor de proteína bruta, detectou-se efeito quadrático ($P < 0,05$) da pressão de compactação, estimando-se valor máximo de 11,18%, para a compactação de 592,08kg/m³ (Figura 2). Para a matéria seca, ajustou-se a



****Significativo a 1% de probabilidade pelo teste “t”.**

Figura 2 - Estimativa da porcentagem de proteína bruta de silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação.

seguinte equação: $\hat{Y} = 13,3369 + 0,00163326^*CO$ ($R^2 = 0,39$), estimando-se incrementos de 0,0016% por unidade de aumento na pressão de compactação. Tal comportamento se explica pela acentuada perda de efluente sob maiores condições de pressão.

A observação de baixos teores protéicos para as compactações de 356,66 e 791,00kg/m³ seria explicada em decorrência das reações que ocorrem com o material ensilado e, conseqüentemente, perdas de compostos nitrogenados por deterioração aeróbica e lixiviação, respectivamente. Tendo em vista o alto teor de umidade da massa ensilada (78,1%), podem-se admitir perdas de proteína bruta por lixiviação de compostos nitrogenados (LAFETÁ, 1984).

4.1.2. Fibra em detergente ácido, fibra em detergente neutro e digestibilidade *in vitro*

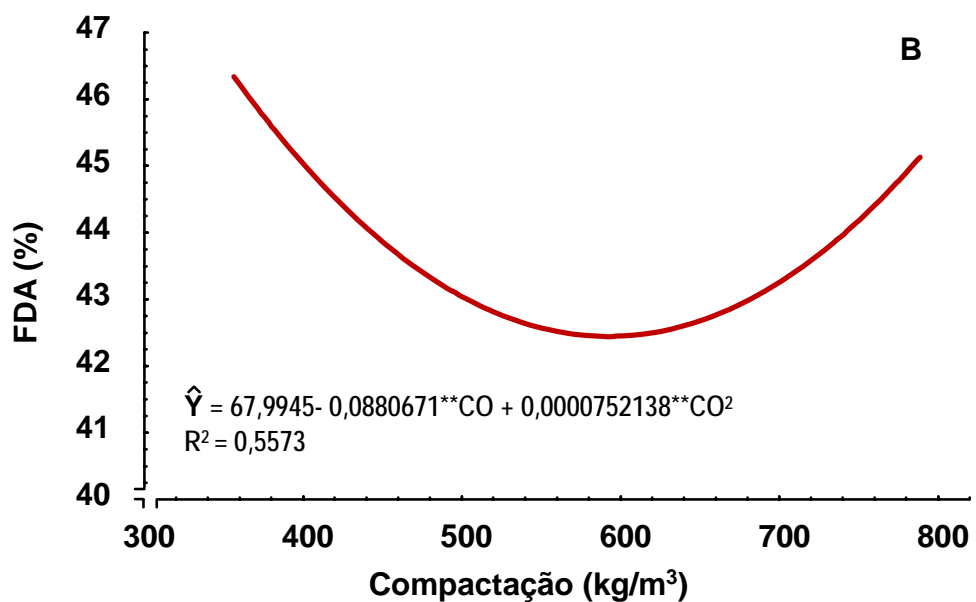
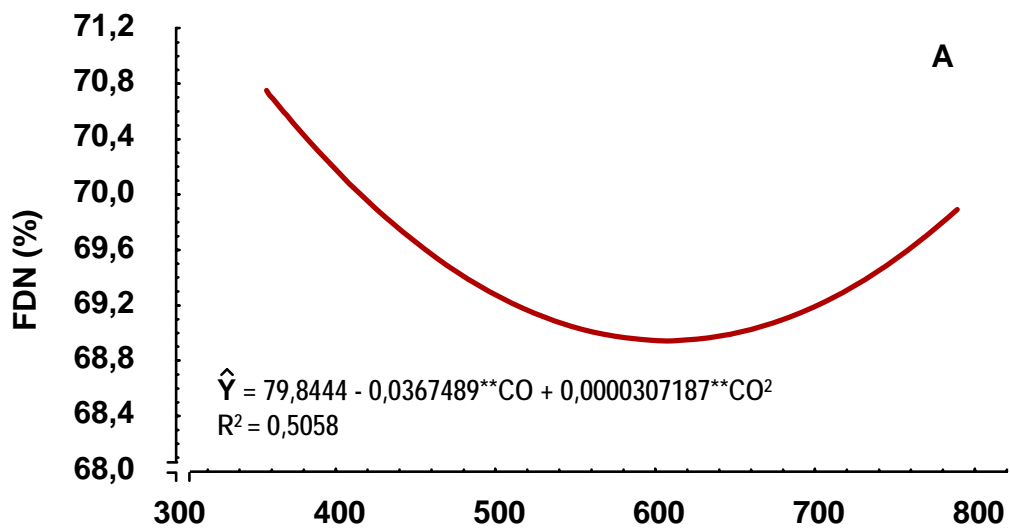
Para os teores fibra em detergente ácido e fibra de detergente neutro, detectou-se efeito quadrático da pressão de compactação, estimando-se pontos de mínimo para as compactações de 585,45 e 598,15 Kg/m³, registrando-se valores de 42,22 e 68,85%, respectivamente (Figura 3).

Quanto à fração fibrosa, o teor elevado relativo à FDA, observado sob a densidade de 365,66 kg/m³, pode ser devido à ocorrência da reação de Maillard, a qual produz componente insolúvel em detergente ácido (VILELA, 1989), o que explica o teor de FDN sob esta compactação, pois ocorrendo essa reação, os açúcares e glicídios reagiriam com o aminoácido, diminuindo a digestibilidade e aumentando o FDN (MÜHLBALCH, 1998). Possíveis retenções de ar, na massa ensilada, poderiam ter ocorrido, ocasionando perdas. Em compactações elevadas, grande parte dos constituintes da matéria seca (CHO'S, minerais, etc) pode ser consumida ou lixiviada, sob o processo de fermentação e compactação. A concentração de FDN aumenta, devido à redução de carboidratos fermentáveis contidos na silagem (MAHANNA, 1993). A perda por efluente seria o principal fator responsável pelos teores obtidos de FDA e FDN, na fração da matéria seca, que passam a representar uma parte significativa dos componentes da silagem; este fato explicaria o aumento das respectivas frações.

Não foi detectado efeito ($P > 0,01$) de compactação para o teor de digestibilidade *in vitro* da matéria seca, estimando-se valor de 58,69% para esta variável.

4.1.3. Nitrogênio amoniacal e pH

Para o nitrogênio amoniacal, observou-se efeito quadrático da pressão de compactação, estimando-se o ponto mínimo de 16,16% para a compactação de 538,23 kg/m³. A elevação do nitrogênio amoniacal, a partir desta densidade, pode estar relacionada a um maior rompimento das células



****Significativo a 1% de probabilidade pelo teste "t".**

Figura 3 - Estimativa da porcentagem de FDN (A) e FDA (B) de silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação.

devido à alta pressão, liberando assim seiva e enzimas responsáveis pela quebra da proteína em peptídeos, aminoácidos e amônia através da atividade de proteases da planta (ROTZ e MUCK, 1994). Em silagens de gramíneas acima de 15% (percentagem do nitrogênio total), os teores de nitrogênio amoniacal não são ideais para se obter uma silagem adequada, conforme MAHANNA (1993). Assim, as silagens analisadas não podem ser consideradas de qualidade satisfatória a aceitável em relação ao teor de nitrogênio amoniacal.

Para o pH, ajustou-se o modelo cúbico. Os valores estimados para o pH, que variaram de 4,4 a 4,7, estão acima da faixa considerada adequada (3,8 a 4,2) para uma boa preservação do material, segundo LAVEZZO (1985).

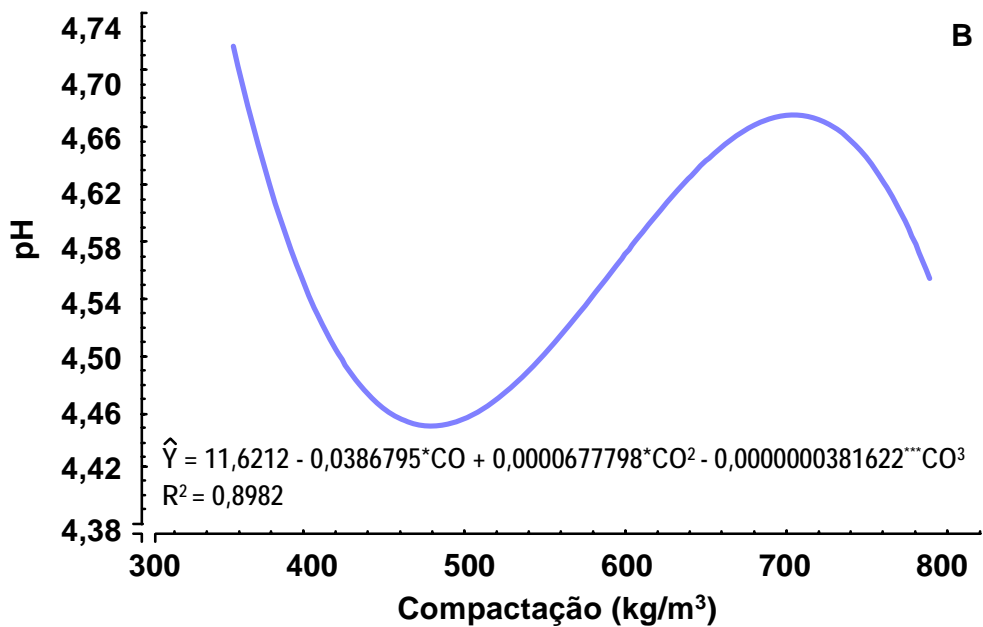
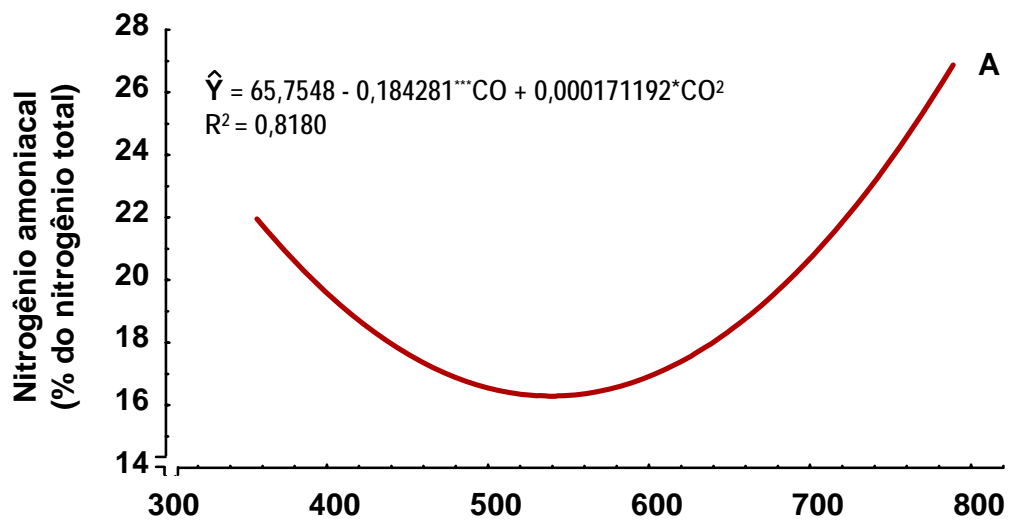
Em silagens de alfafa, a atividade proteolítica das enzimas não é inibida até que o pH caia de 4,5 a 4,0 (McDONALD et al., 1991). A queda do pH reduz a atividade proteolítica, mas não a elimina (ROTZ e MUCK, 1994). TOSI et al. (1983), em estudos com silagens de capim-elefante, cultivar Taiwan AI – 48, submetidas às densidades de compactação de 359; 406; e 446 kg/m³, registraram valores de pH de 3,77 a 3,91.

O comportamento dos gráficos, as equações de regressão ajustadas e os coeficientes de determinação (R^2) para nitrogênio amoniacal e pH podem ser verificados na Figura 4.

4.1.4. Minerais (P, Ca, Na, Mg e K)

Não se detectou efeito ($P > 0,01$) de compactação para os teores de cinzas e sódio, estimando-se valores de 7,8 e 0,02% para as respectivas variáveis.

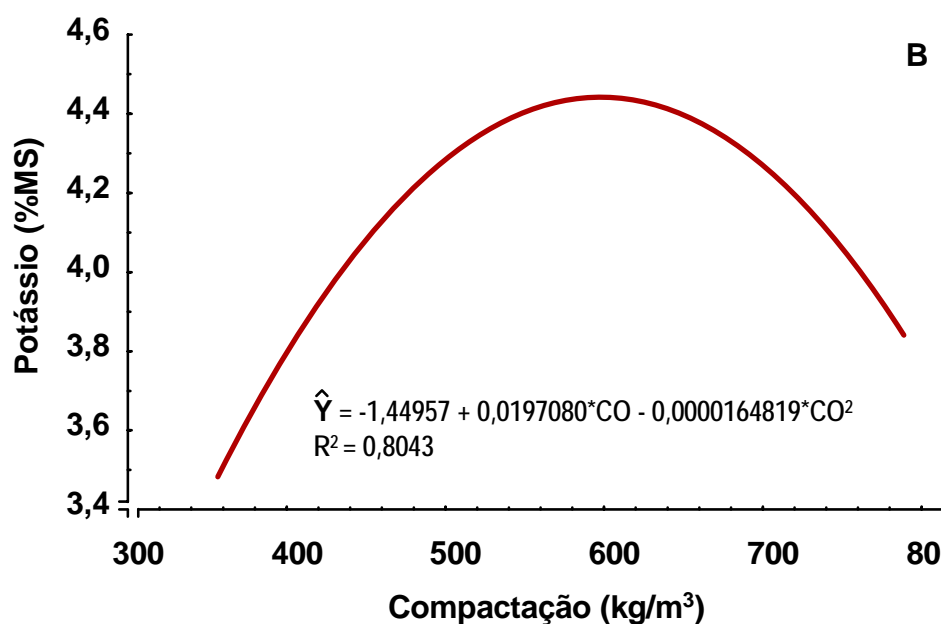
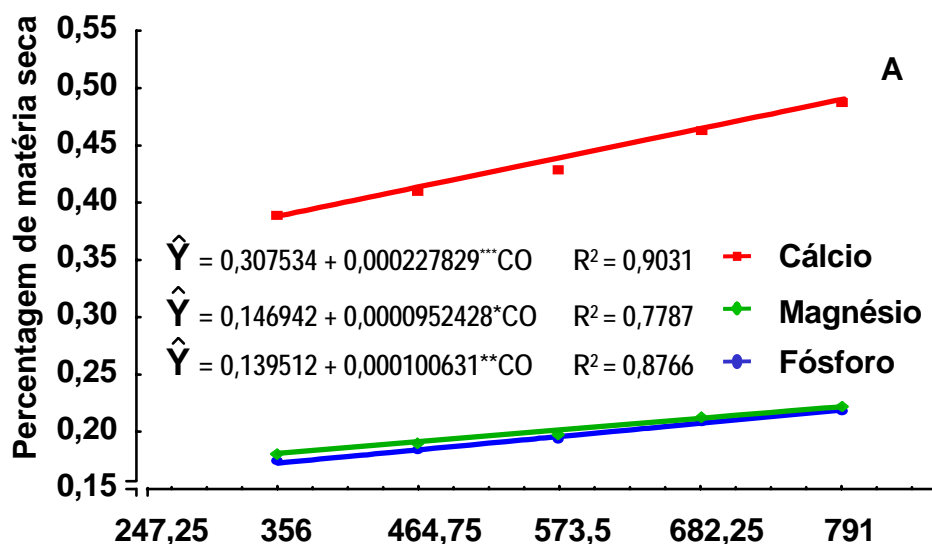
Para os teores de fósforo, cálcio e magnésio, ajustaram-se equações lineares crescentes, conforme se observa na Figura 5, estimando-se incrementos de 0,0001; 0,0002; e 0,0001% por unidade de aumento na pressão de compactação, respectivamente. Isso deve-se, provavelmente, ao efeito de diluição na matéria seca da silagem, com o aumento da pressão de compactação.



*Significativo a 5 % de probabilidade pelo teste "t".

***Significativo a 10 % de probabilidade pelo teste "t".

Figura 4 - Estimativa da porcentagem de nitrogênio amoniacal (A) e pH (B) de silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação.



*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste “t”.

***Significativo a 10 % de probabilidade pelo teste “t”.

Figura 5 - Estimativa da percentagem de fósforo, cálcio, magnésio (A) e potássio (B) de silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação.

Para o teor de potássio, detectou-se efeito quadrático da pressão de compactação, estimando-se ponto de máximo para a compactação de 597,87kg/m³, registrando-se valor de 4,44%.

Deve-se salientar que a mobilidade no floema dos elementos minerais analisados, neste experimento, é bastante variável e, em geral, obedece à seguinte ordem decrescente: K, Na, P, Mg, sendo o Ca considerado praticamente imóvel.

4.1.5. Características do efluente

As equações de regressão, ajustadas em função dos níveis de compactação e dos dias, referentes à quantidade de efluente produzido, expressas em ml, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, proteína bruta e sólidos totais expressos em mg/l e minerais (fósforo e potássio) expressos em percentagem de matéria seca encontram-se no Quadro 3, com seus respectivos coeficientes de determinação (R²).

4.1.5.1. Produção de efluente

O comportamento do fluxo de efluente encontra-se representado na Figura 6. Verifica-se que mais de 55% do total do efluente foram produzidos nos dois primeiros dias em todas as compactações, sendo que o pico de fluxo foi registrado no primeiro dia de ensilagem, excetuando-se aquela de 356,67kg/m³ que apresentou cerca de 35% do total de efluente produzido nos primeiros dois dias e pico de fluxo no segundo dia após a ensilagem. Ainda na Figura 7, pode-se verificar que à medida que se eleva a pressão aplicada na silagem de capim-elefante, aumenta a produção de efluente.

No Quadro 4, encontram-se os dados obtidos para a produção de efluente, estimados por diferentes equações, para um período de sete dias. Observa-se que as equações propostas por Sutter superestimaram a produção de efluente da silagem de capim-elefante, se for fixado somente o conteúdo de matéria seca da silagem.

Quadro 3 - Equações de regressão ajustadas em função dos níveis de compactação (CO) e dias (D) para quantidade efluente produzida em mL, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, proteína bruta (PB) e sólidos totais (ST) em mg/L, fósforo e potássio em percentagem de matéria seca do efluente em silagens de capim-elefante com 13% de matéria seca e os respectivos coeficientes de determinação (R²)

VARIÁVEIS	EQUAÇÕES AJUSTADAS	R ²
Quantidade (mL)	$\hat{Y} = -624,658 + 4,12805^{**}CO + 0,00100916^{*}CO^2 - 248,17^{**}D + 76,2577^{**}D^2 - 0,974923^{**}D*CO$	0,6869
N _{Total} (mg/L)	$\hat{Y} = -265,531 + 1,07501^{*}CO + 393,743^{*}D - 36,5672^{*}D^2$	0,7140
N _{Amoniacal} (mg/L)	$\hat{Y} = -18,4240 + 0,0526708^{*}CO + 30,8302^{*}D - 2,67595^{*}D^2$	0,7454
N _{Orgânico} (mg/L)	$\hat{Y} = -247,108 + 1,022340^{*}CO + 362,913^{*}D - 33,8913^{*}D^2$	0,6849
PB (mg/L)	$\hat{Y} = -1.659,57 + 6,71881^{*}CO + 2.460,89^{*}D - 228,545^{*}D^2$	0,7140
ST (mg/L)	$\hat{Y} = 20.462,2 - 1,39590^{*}CO + 3950,32^{*}D - 488,254^{*}D^2 + 2,67644^{*}CO*D$	0,8204
Fósforo MS (%)	$\hat{Y} = 0,804131 + 0,000382674^{*}CO + 0,101305^{*}D - 0,0000829244^{*}D*CO$	0,5020
Potássio MS (%)	$\hat{Y} = 6,97029 - 0,00199888^{*}CO + 0,480575^{*}D - 0,0620046^{*}D^2$	0,2969

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste 't'.

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste 't'.

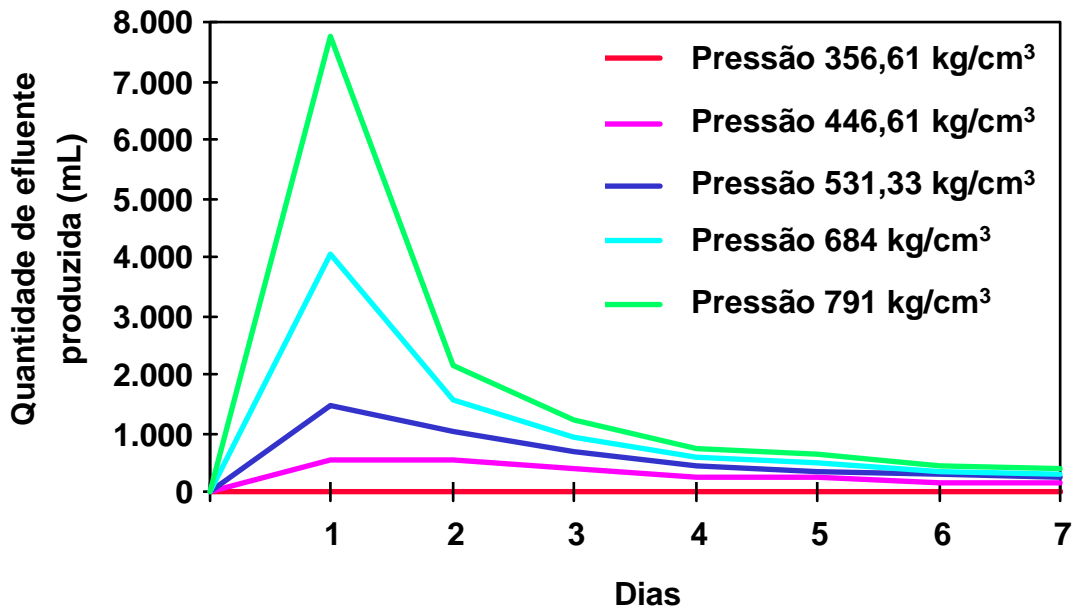


Figura 6 - Relação entre a quantidade observada (ml) do efluente e a pressão aplicada (kg/m³) em um período de 7 dias, em silagens de capim-elefante com 13% de matéria seca.

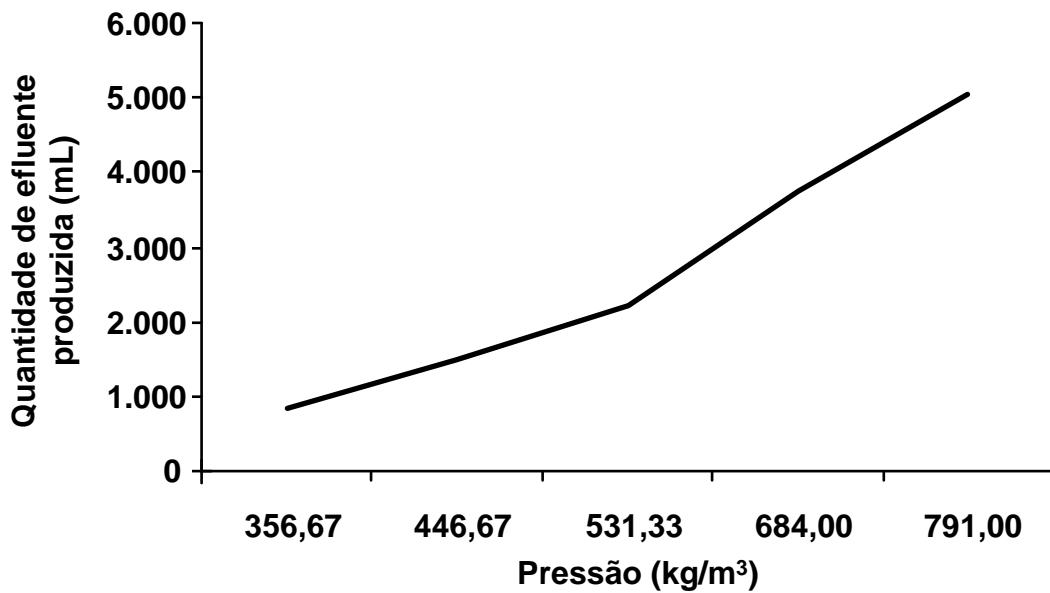


Figura 7 - Relação entre a quantidade de efluente (ml) e pressão aplicada (kg/m³).

Quadro 4 - Produção de efluente observada durante sete dias de coleta e produção estimada através das equações propostas por Sutter (1957), Zimmer (1967) e BASTIMAN (1976) para o material ensilado com 13% de matéria seca

COMPACTAÇÕES (kg/m ³)	PRODUÇÃO DE EFLUENTE			
	OBSERVADA (L)	ESTIMADA		
		SUTTER (L)	BASTIMAN (L)	ZIMMER (Kg)
356,67	0,8373	4,9444	2,9898	3,599
446,67	1,4333	5,8422	3,3081	4,0362
531,33	2,0667	7,4548	4,5646	5,4808
684,00	3,8	9,5209	5,7738	6,946
791,00	5,0667	10,7817	6,3931	7,7261

No Quadro 5, encontram-se a estimativa da matéria seca da silagem perdida por efluente calculada pela equação de MILLER e CLIFTON (1965) e os valores observados. Como se pode constatar, a equação usada não é adequada por superestimar as perdas, quando se trata de silagens utilizando capim-elefante com 13% de matéria seca, pois, em silagens com elevado conteúdo de umidade, parece ocorrer uma subestimação dos resultados, além de não levar em conta a compactação. O comportamento observado para as perdas de matéria seca, em função da compactação, foi estimado pela equação de regressão: $\hat{Y} = 52,0728 - 0,117894^{**}CO + 0,000106602^{**}CO^2$ ($R^2 = 0,82$), estimando-se o ponto mínimo para a compactação de 552,96kg/m³, registrando-se resposta de 19,47%. Pode-se perceber ainda que o total de matéria seca perdida no tratamento que sofreu menor compactação (365,67 kg/m³) foi semelhante ao que sofreu maior compactação (791,00 kg/m³). Isto pode ser devido ao fato de que não houve apenas perdas por efluente na silagem, mas também perdas por fermentação secundária, já que a menor compactação parece não ter sido adequada para a retirada da água presente no silo, acarretando assim perda significativa.

Quadro 5 - Aplicação da equação de regressão proposta por MILLER e CLIFTON (1965) para se estimar a quantidade de matéria seca perdida e resultados calculados para o material ensilado com 13% de matéria seca

COMPACTAÇÃO (kg/m ³)	MILLER e CLIFTON (%)	TOTAL de MS PERDIDA (%)
356,67	10,5399	24,35
446,67	10,0303	19,57
531,33	10,6406	19,06
684,00	10,5629	22,90
791,00	10,3845	24,74

4.1.5.2. DBO, DQO e DQO/DBO

Em relação aos resultados obtidos para a razão DQO/DBO de 2,38, DBO de 14.596,69 mg/l e DQO de 31.138,2 do efluente, verifica-se que não houve variação em função dos dias ou da compactação. O valor encontrado para a DBO encontra-se abaixo dos valores encontrados na literatura, que variam em média de 40.000 a 90.000 mg/l, e o valor da relação DQO/DBO mostra que esse efluente é facilmente biodegradável. Porém, é considerado ainda muito alto e com grande potencial poluidor, levando-se em conta que a legislação brasileira estipula que os valores da DBO e DQO sejam, no máximo, 60 e 90 mg/l respectivamente para os esgotos e dejetos lançados em cursos de água ou rios (COPAM, 1986; FEAM, 1998).

4.1.5.3. Minerais

Ao submeter os dados referentes aos teores de Na e Mg à técnica de superfície de resposta, não foi detectado efeito dos níveis de compactação e dos dias de coleta do efluente, permanecendo constante com teores de 0,0008 e 0,3997% para as respectivas variáveis. Para o P, detectou-se efeito

significativo dos níveis de compactação e dos dias de coleta de efluente (Figura 8). Observaram-se incrementos dos teores de P no efluente com o passar dos dias. Em relação à compactação, até o quarto dia, verifica-se que houve aumento do teor de P com a elevação do nível de compactação; a partir do quinto dia, o efeito observado foi contrário, ou seja, houve redução do teor de P.

Na Figura 9, avaliando-se o K, verificam-se efeito dos níveis de compactação ($P < 0,01$) e dias de coleta do efluente ($P < 0,05$). Para os teores de K, verificou-se redução de seu conteúdo no efluente com o aumento dos níveis de compactação. Ao se avaliar o efeito dos dias de coleta dentro de cada nível de compactação, verificou-se que os teores máximos de K de 7,18; 7,00; 6,83; 6,53; e 6,32% foram registrados no quarto dia de coleta (3,87).

O teor de sódio encontrado, no efluente, foi inferior ao da silagem, já o mesmo não ocorreu para o magnésio, fósforo e potássio que alcançaram teores maiores do que os encontrados na própria silagem. O cálcio não foi observado no efluente, provavelmente por ser considerado um elemento mineral imóvel no tecido da planta. No caso do magnésio, fósforo e potássio, são esperados valores elevados, no efluente, devido à perda do conteúdo mineral por lixiviação. Verificou-se que o conteúdo mineral para estes elementos, na silagem, teve valores inferiores ao da forragem original, como foi sugerido por PURVES e McDONALD (1963). Além disso, verificou-se que o efluente foi mais rico em elementos minerais que a própria forrageira original.

4.1.5.4. Sólidos totais

Ao submeterem os dados relativos aos sólidos totais à técnica de superfície de resposta detectou-se efeito ($P < 0,01$) dos níveis de compactação e dos dias referentes à coleta de efluente.

Observa-se, na Figura 10, que a concentração dos sólidos totais incrementou com o aumento da compactação. Ao se avaliar os efeitos dos dias de coleta do efluente dentro de cada nível de compactação, verificou-se que os teores máximos de 32.282,82; 33.367,10; 34.387,14; 36.226,41; e 37.515,50 mg/l foram obtidos no quinto dia de coleta (5,02).

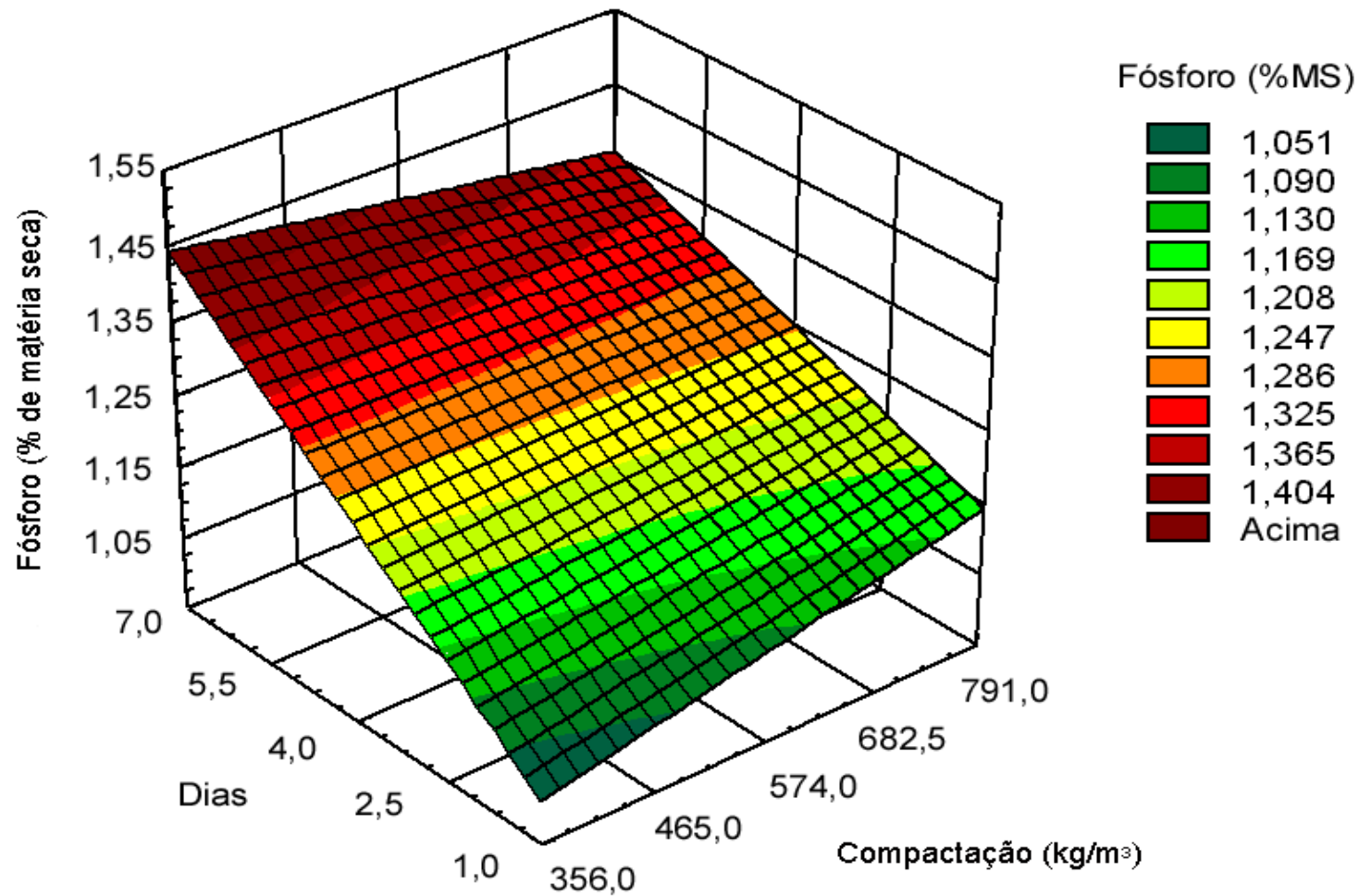


Figura 8 - Estimativa da percentagem de fósforo (% MS) no efluente produzido da silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca), em função da compactação e dos dias de coleta.

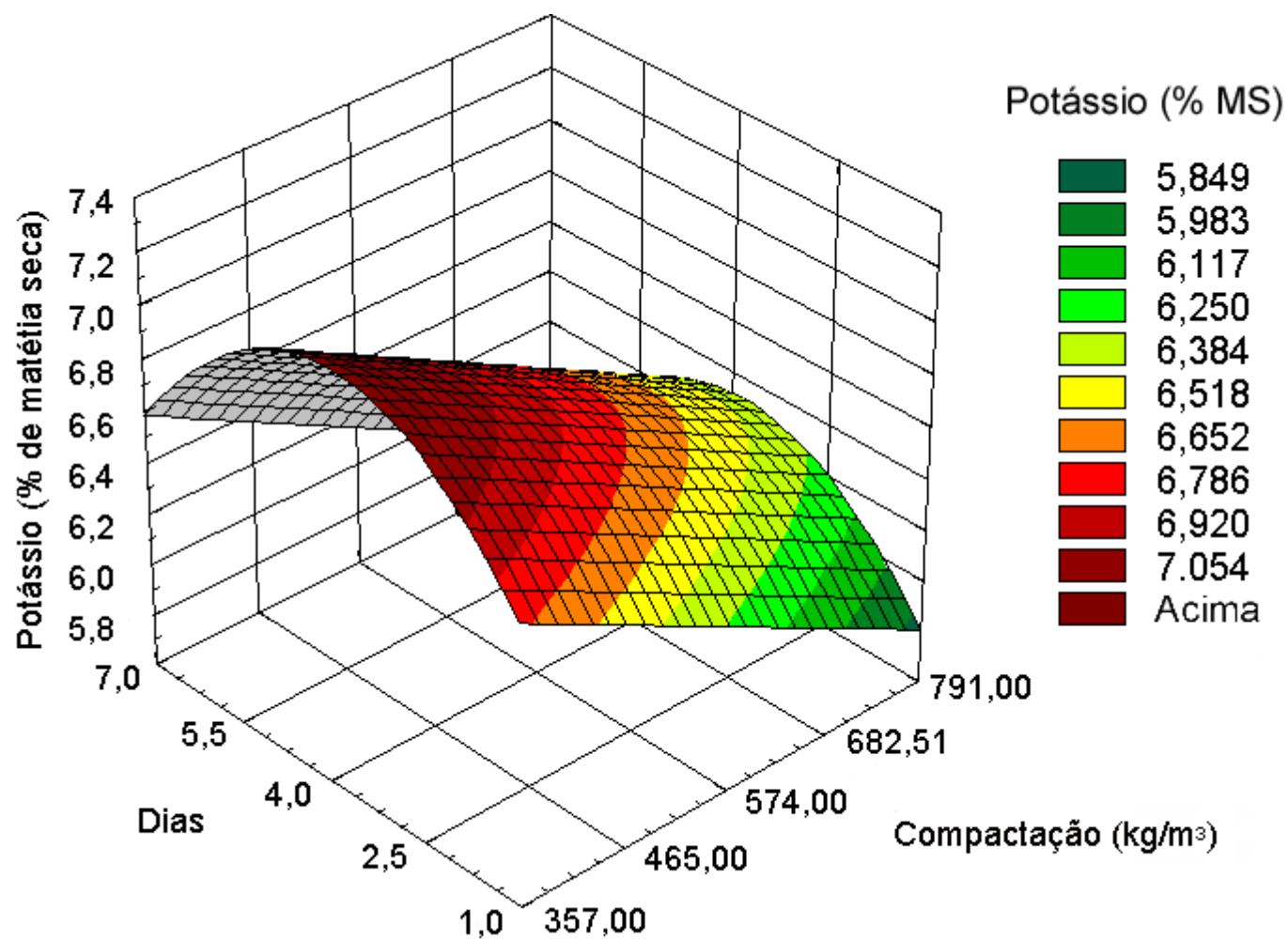


Figura 9 - Estimativa da porcentagem de potássio (%MS) no efluente produzido da silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação e dos dias de coleta.

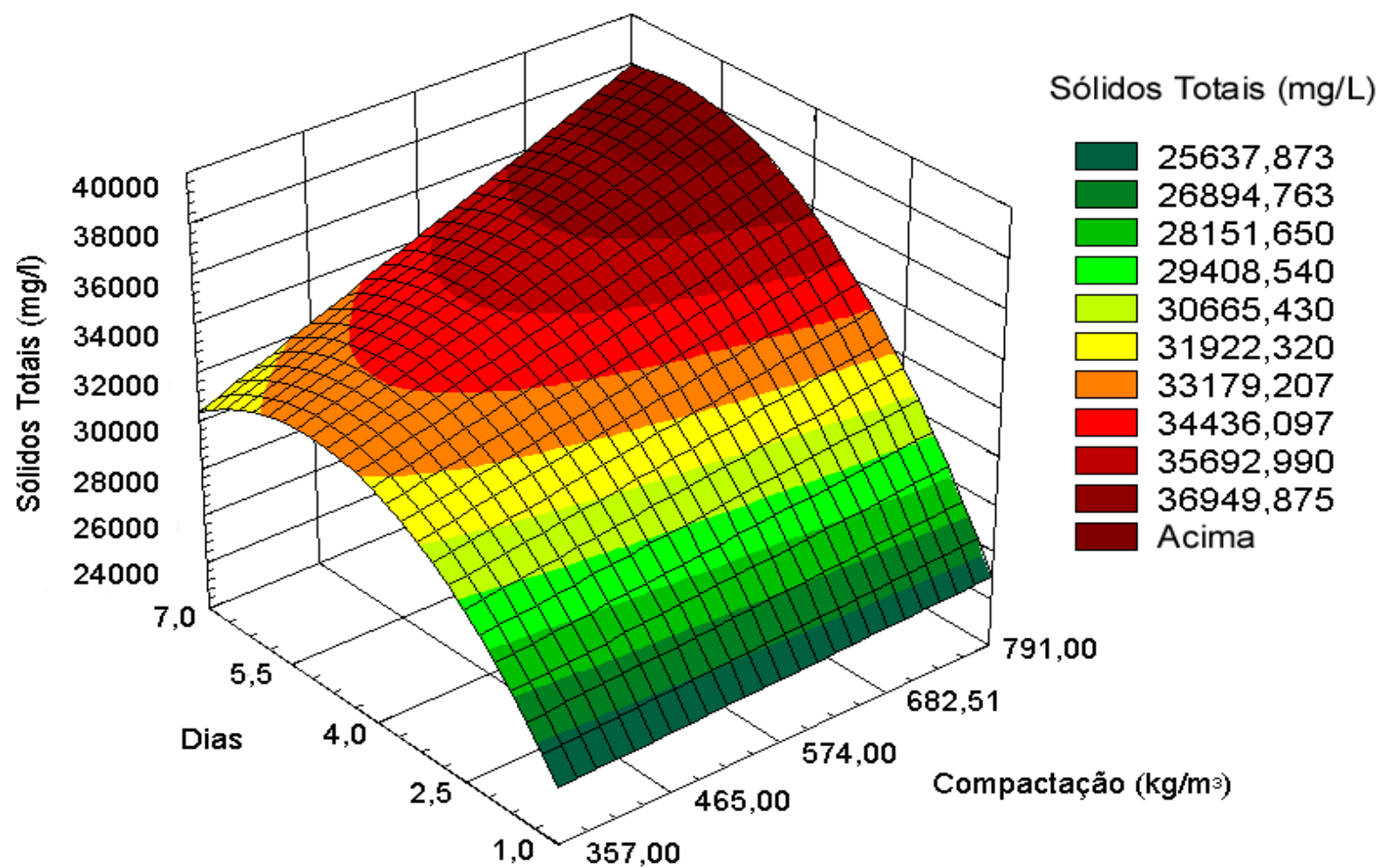


Figura 10 - Estimativa dos sólidos totais (mg/l) no efluente produzido da silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação e dos dias de coleta.

Em relação à matéria seca ou sólidos totais, a média geral encontrada foi de 31.730 mg/l, tendo uma variação de 24.380,99 a 38.185,20 mg/l, estando assim dentro dos valores encontrados na literatura, onde verificou-se uma alteração de 10.000 a 110.000 mg/l.

4.1.5.5. Nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, proteína bruta e pH

Ao submeterem os valores de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, proteína bruta à técnica de superfície de resposta, observou-se efeito ($P < 0,01$) dos níveis de compactação e dos dias de coleta de efluente para as respectivas variáveis. Por sua vez, o teor de pH não foi influenciado por níveis de compactação e dias, estimando-se valor médio de 4,30.

Nas Figuras 11, 12 e 13, podem ser observados os gráficos de superfície de resposta para nitrogênio total, nitrogênio amoniacal e proteína bruta. Observou-se considerável aumento (de 475 a 1639 mg/l) do teor de nitrogênio total no efluente com a elevação dos níveis de compactação. O mesmo comportamento foi verificado para o nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico e proteína bruta.

Avaliando-se o efeito dos dias dentro de cada nível de compactação, constatou-se que, para os níveis de pressão de 356,67; 446,67; 531,33; 684,00; e 791,00 kg/m³, os teores máximos de nitrogênio total foram respectivamente 1.177,81; 1.274,56; 1.365,57; 1.529,69; e 1.644,72 mg/l para o efluente coletado no quinto dia (5,38).

Para o nitrogênio amoniacal, verificaram-se teores máximos de 89,16; 93,90; 98,36; 106,40; e 112,03 mg/l também registrados no quinto dia (5,76).

Foram registrados, no quinto dia de coleta efluente (5,35 e 5,38), para nitrogênio orgânico, os teores máximos de 1.089,05; 1.181,06; 1.267,62; 1.423,70; e 1.533,9 mg/l; para proteína bruta, os teores de 7.361,30; 7.965,99; 8.534,85; 9.560,59; e 10.279,50 mg/l.

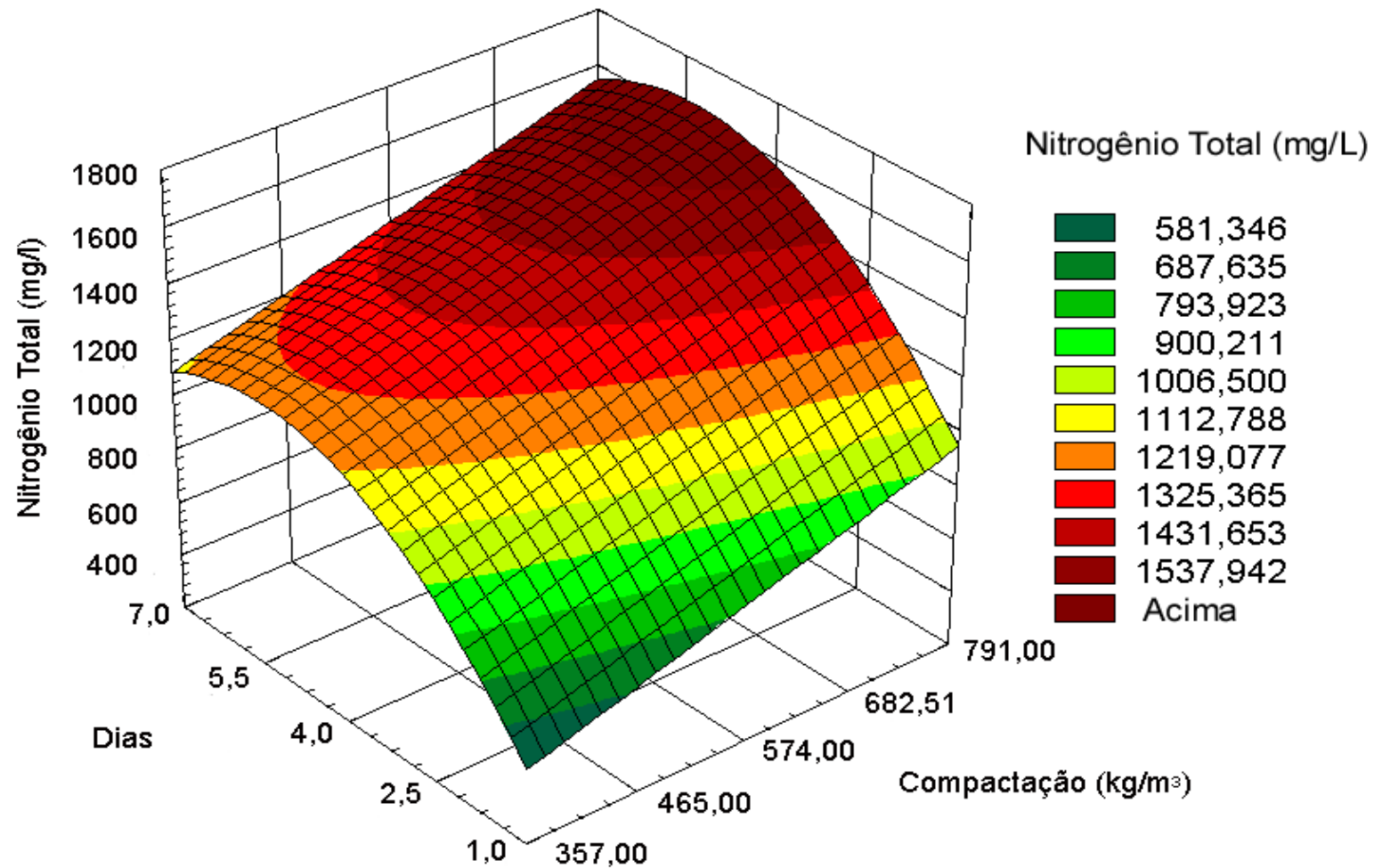


Figura 11 - Estimativa do nitrogênio total (mg/l) no efluente produzido da silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação e dos dias de coleta.

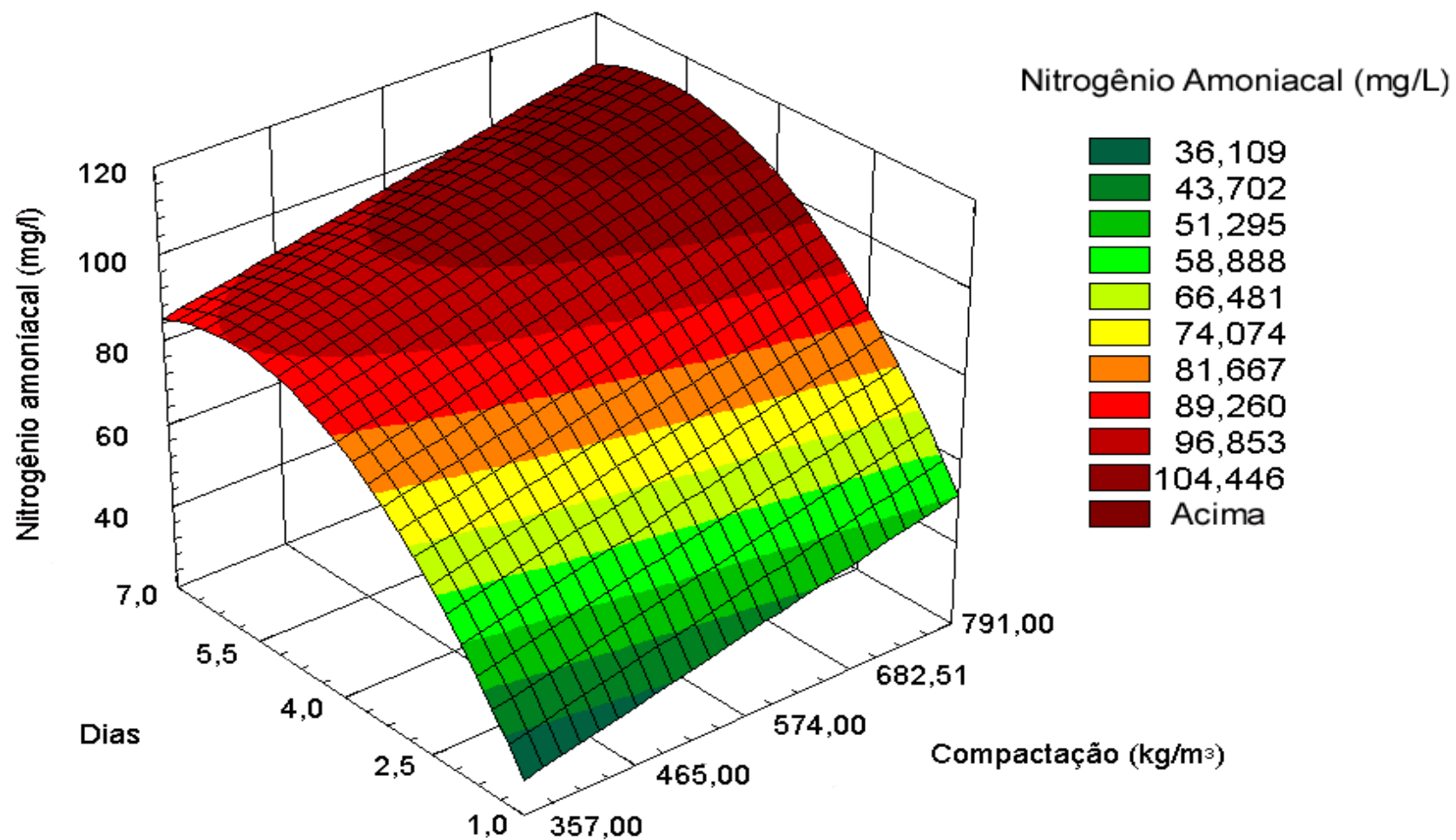


Figura 12 - Estimativa do nitrogênio amoniacaal (mg/l) no efluente produzido da silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação e dos dias de coleta.

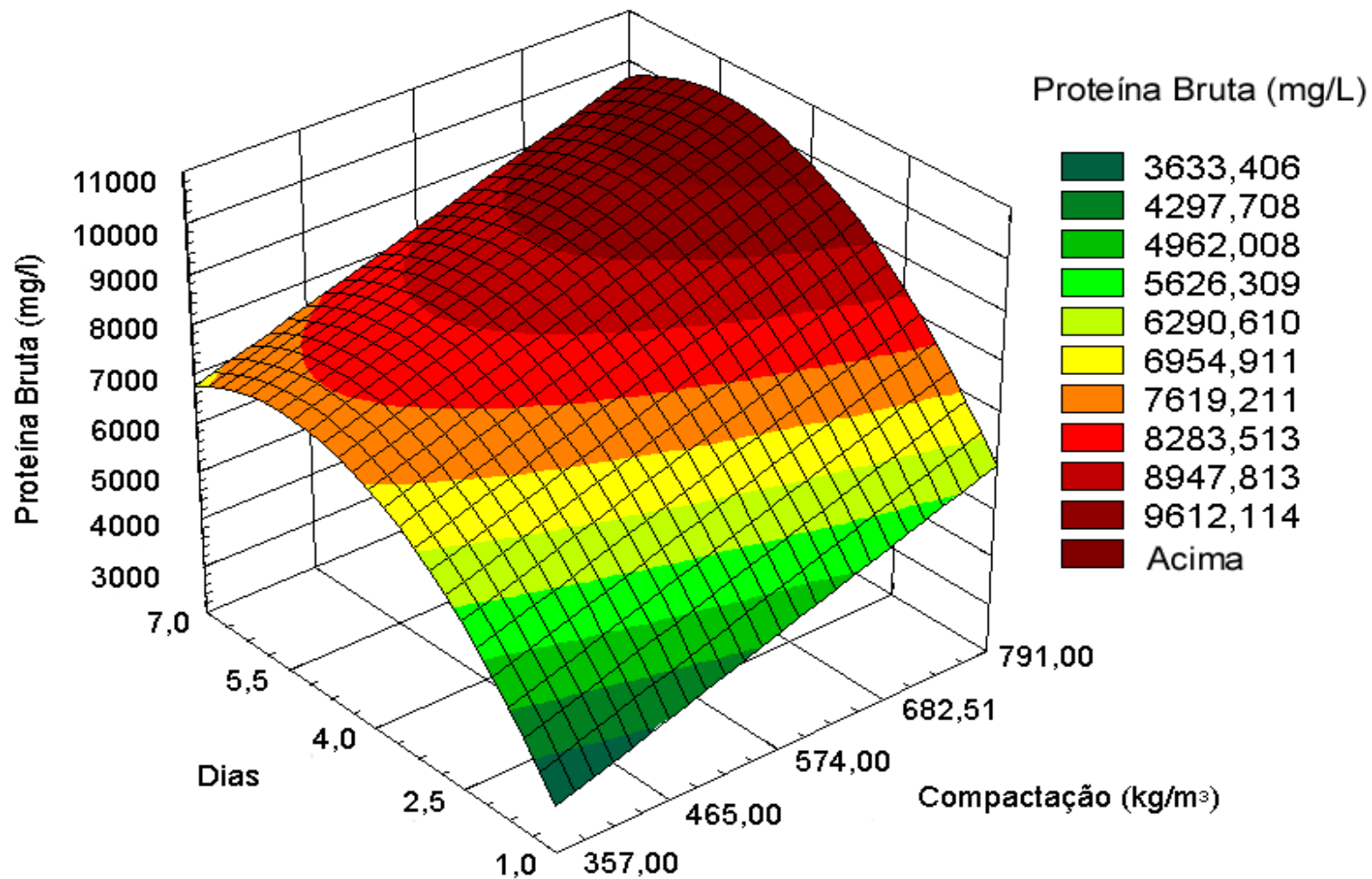


Figura 13 - Estimativa da proteína bruta (mg/l) no efluente produzido da silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação e dos dias de coleta.

Para o nitrogênio total, o nitrogênio amoniacal, o nitrogênio orgânico e a proteína bruta, verificaram-se as seguintes variações de: 475,06 a 1.630,83; 28,52 a 111,89; 446,55 a 1.518,95; e 2969,15 a 10.192,73 mg/l, respectivamente.

Os valores encontrados para as concentrações de nitrogênio total ainda são muito elevados, o que representa a necessidade de realização de um processo de tratamento para reduzir esta concentração a níveis de 10 mg/l (MOTA, 1995).

4.2. Experimento II - Característica das silagens utilizando capim-elefante com 25% de matéria seca

As silagens apresentaram odor normal e sua coloração era de um verde-pardo. Mas, também, mostravam-se com certa deterioração aeróbia nas camadas próximas às extremidades do silo. Não foi observada produção de efluente com este teor de matéria seca, como pode ser verificado no Quadro 6. No Quadro 7, encontram-se as estimativas da matéria seca da silagem perdida por efluente, calculada pela equação de MILLER e CLIFTON (1965) e os valores observados. O comportamento do teor de matéria seca perdida, em função da compactação, foi estimado pela equação de regressão: $\hat{Y} = - 2,76383 + 0,0188414 * CO - 0,0000235438 * CO^2$ ($R^2 = 0,44$), estimando-se o ponto de máximo para a compactação de 400,13kg/m³ e resposta de máxima de 1,00%. Pode-se verificar que não houve efeito significativo ($P < 0,01$) em função da compactação.

A forragem utilizada com esse teor de matéria seca apresentou um valor médio de 11,4% de carboidratos solúveis (% MS), o que resultou em melhoria de qualidade da silagem, quando comparada à silagem com 13% de MS.

Quadro 6 - Produção de efluente observada durante sete dias de coleta e produção estimada através das equações propostas por Sutter (1957), Zimmer (1967) e BASTIMAN (1976) para o material ensilado com 25% de matéria seca

COMPACTAÇÕES (kg/m ³)	PRODUÇÃO DE EFLUENTE			
	OBSERVADA (L)	ESTIMADA		
		SUTTER (L)	BASTIMAN (L)	ZIMMER (Kg)
294,67	0	1,4339	0,2669	0,4448
331,67	0	1,1041	0,1469	0,2691
387,00	0	1,2359	0,1603	0,2947
438,33	0	0,6692	0,0906	0,1238
488,67	0	2,6937	0,5706	0,9118

Quadro 7 - Aplicação da equação de regressão proposta por MILLER e CLIFTON (1965) para se estimar a quantidade de matéria seca perdida efluente e resultados calculados para o material ensilado com 25% de matéria seca

COMPACTAÇÃO (kg/m ³)	MILLER e CLIFTON (%)	TOTAL de MS PERDIDA (%)
294,67	4,7018	0,95
331,67	3,6948	1,09
387,00	3,6102	0,90
438,33	2,5277	0,96
488,67	5,1121	0,85

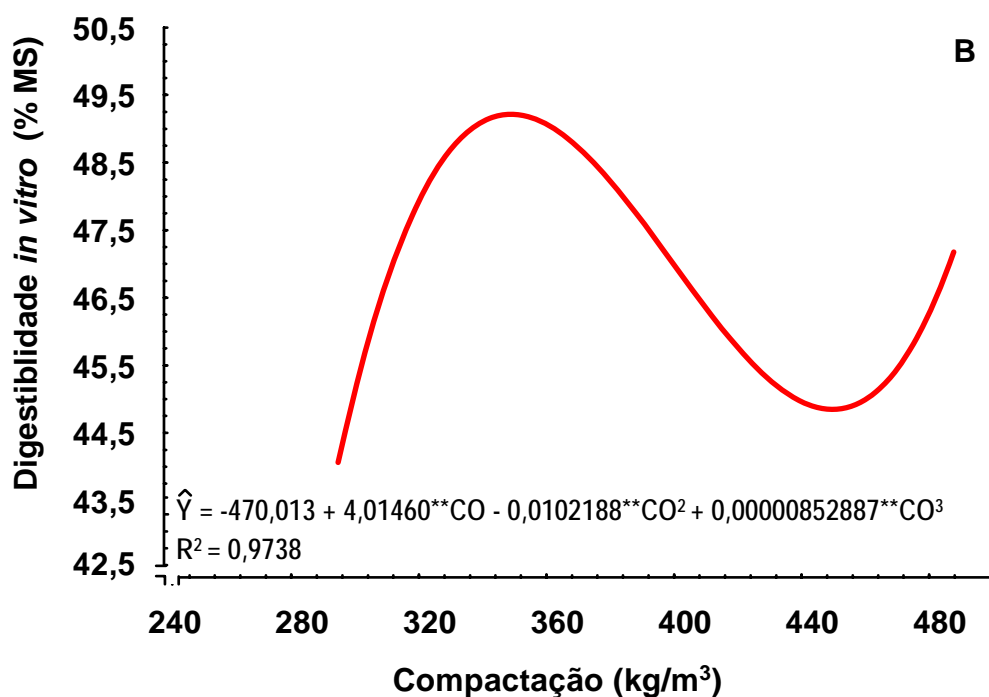
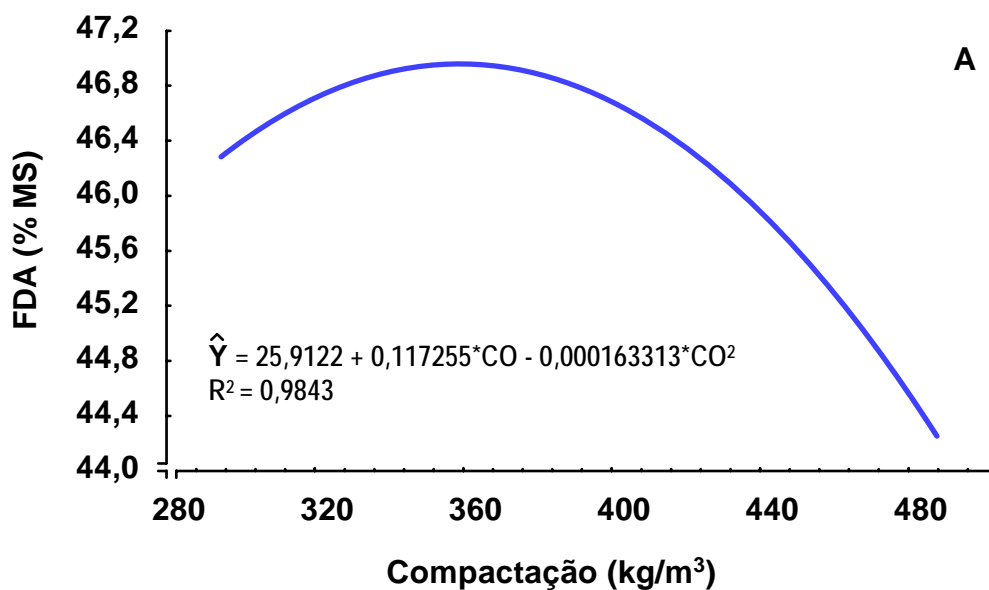
4.2.1. Matéria seca e proteína bruta

Não se detectou efeito ($P > 0,01$) da pressão de compactação para matéria seca e proteína bruta, estimando-se valores médios de 22,06 e 7,96% para as respectivas variáveis. Como não houve perda por efluente, o fato dos teores de proteína bruta e matéria seca se manterem constantes é plausível.

4.2.2. Fibra em detergente ácido, fibra em detergente neutro e digestibilidade *in vitro*

Para o teor de fibra em detergente ácido, detectou-se efeito quadrático da compactação, estimando-se ponto de máximo de 46,95% para a compactação de 358,99 kg/m³ (Figura 14). O elevado teor de FDA nas pressões de 294,67 e 358,99 kg/m³ deve-se provavelmente a uma fermentação indesejada, agravada pela baixa densidade. Com o aumento da compactação, verifica-se redução de perdas por deterioração aeróbica e, conseqüentemente, houve diminuição do teor de FDA. Não houve efeito da pressão de compactação para FDN (estimando-se teor médio de 72,64%). Pelo fato de não ter sido observada produção de efluente em nenhuma das compactações efetuadas, pode-se admitir como esperada a não alteração da fração FDN. É provável que, em silos de grandes dimensões, com pressões acima das utilizadas neste experimento e com partículas menores de forragem, possa ocorrer efluente, o que viria ocasionar alterações da fração de FDN.

Para a digestibilidade *in vitro*, o modelo que melhor se ajustou foi o cúbico (Figura 14), o que não era o esperado, em virtude dos teores estimados para outros componentes deste experimento, por isso torna-se difícil explicar os resultados obtidos para o teor de digestibilidade observado nas pressões de 387,00 e 438,33 kg/m³.



*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste “t”.

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste “t”.

Figura 14 - Estimativa da percentagem de FDA (A) e digestibilidade *in vitro* (B) de silagem de capim-elefante com 25% de matéria seca, em função da compactação.

4.2.3. pH e nitrogênio amoniacal

Para os teores de pH, detectou-se efeito quadrático ($P < 0,01$) da compactação, estimando-se ponto de mínimo 3,83% para a compactação de 367,35 kg/m³. Os valores estimados para pH, que variaram de 3,84 a 3,89, estão dentro de uma faixa que caracteriza a ocorrência de uma fermentação desejável e de uma adequada preservação do material. Por isso, as silagens estudadas podem ser classificadas como satisfatórias, segundo os critérios de Carpintero (1969), citado por TOSI et al. (1983).

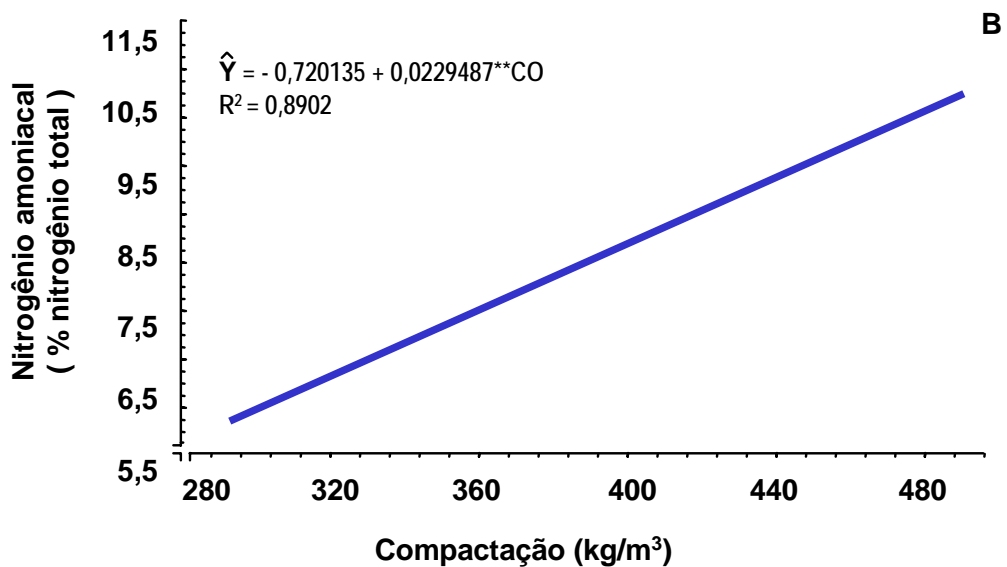
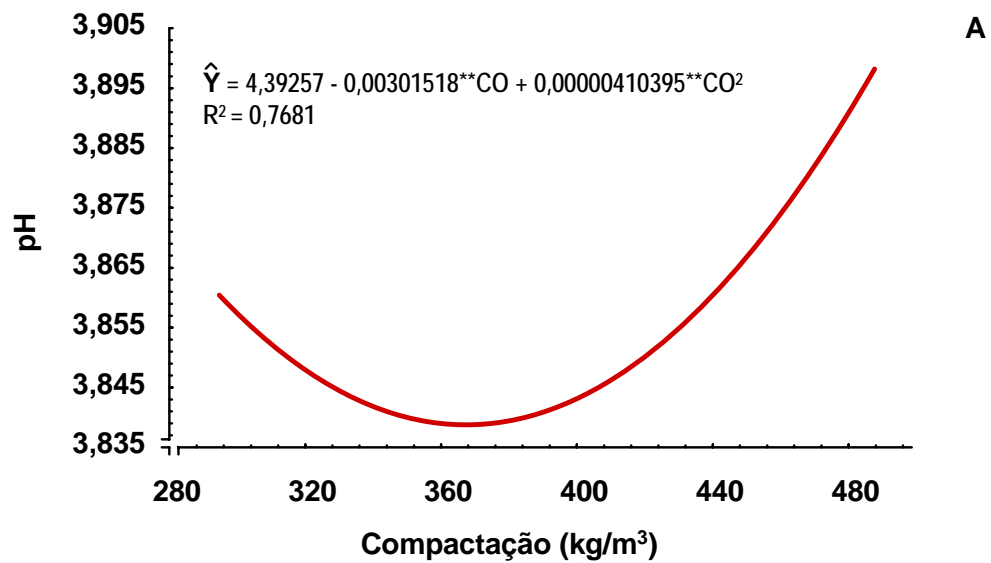
Os teores do nitrogênio amoniacal incrementaram linearmente com a pressão aplicada, estimando-se aumentos de 0,022% por unidade de aumento na pressão de compactação. Explicações para tal ocorrência, que provavelmente justifiquem este resultado, já foram relatadas para o Experimento I. Segundo MAHANNA (1993), as silagens de gramíneas e leguminosas devem possuir teores de nitrogênio amoniacal abaixo de 10-15% (percentagem do nitrogênio total) para que ocorra uma fermentação adequada. Assim, através dos dados obtidos, estas silagens podem ser consideradas de qualidade muito boa em relação ao teor de nitrogênio amoniacal.

O comportamento dos gráficos, as equações de regressão ajustadas e os coeficientes de determinação (R^2) para pH e nitrogênio amoniacal encontram-se na Figura 15.

4.2.4. Minerais (P, Ca, Na, Mg e K)

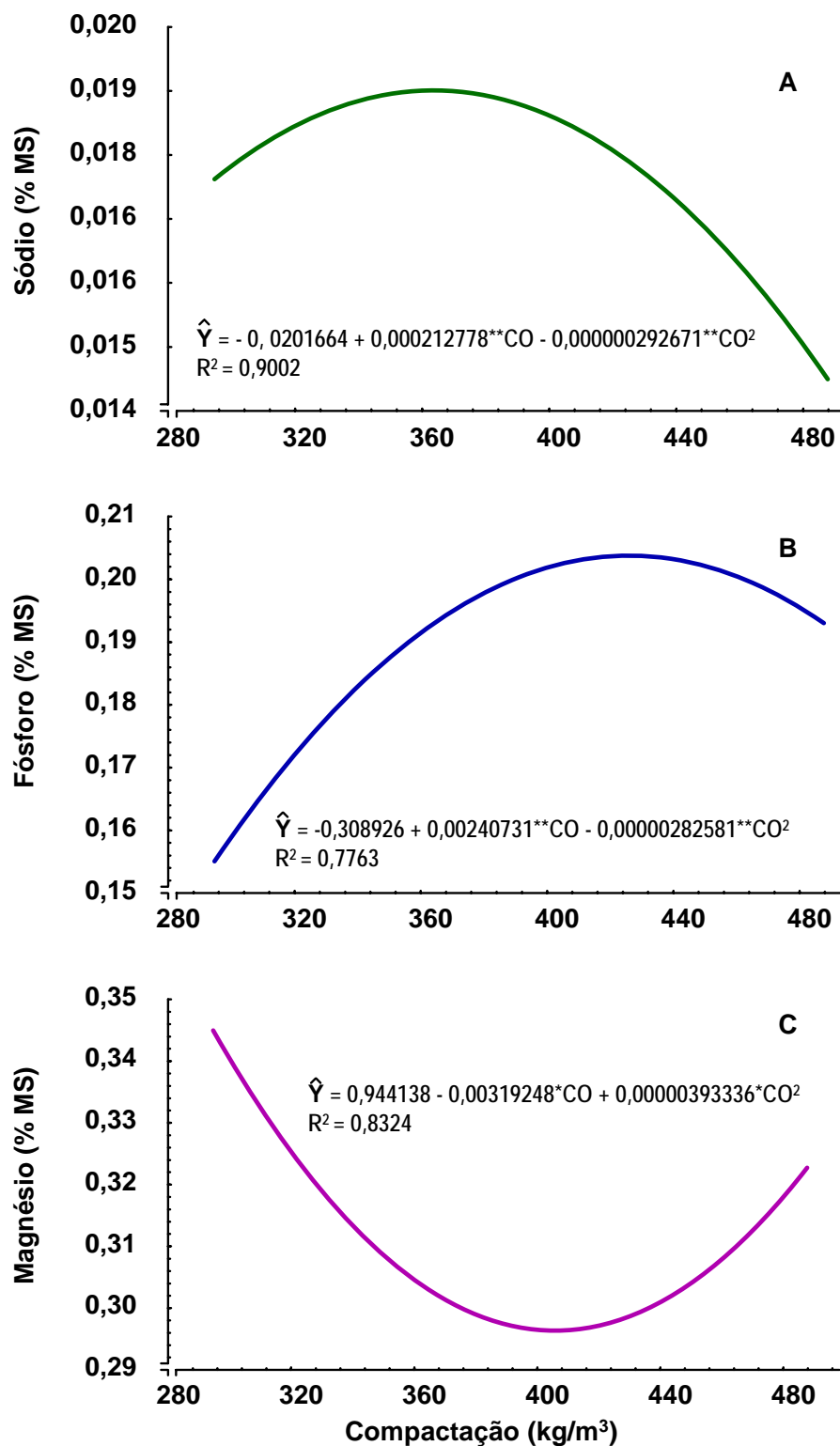
Não se detectou efeito ($P > 0,01$) da pressão de compactação para os teores de cinzas, cálcio e potássio na matéria seca, estimando-se valores médios de 6,06; 0,47; e 1,88%, respectivamente.

Para os teores de fósforo, sódio e magnésio, detectou-se efeito quadrático da compactação, estimando-se os pontos de máximo e mínimo para as compactações de 425,95; 363,5; e 405,82 kg/m³, registrando-se valores de 0,2038; 0,0185; e 0,2964%, respectivamente (Figura 16).



****Significativo a 1% de probabilidade pelo teste "t".**

Figura 15 - Estimativa do pH (A) e nitrogênio amoniacal (B) de silagem de capim-elefante com 25% de matéria seca, em função da compactação.



*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste “t”.

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste “t”.

Figura 16 - Estimativa da percentagem de sódio (A), fósforo (B) e magnésio (C) de silagem de capim-elefante com 25% de matéria seca, em função da compactação.

Tendo em vista que o teor de matéria seca, neste experimento, se manteve constante e não foi verificada produção de efluente nos diferentes níveis de pressões aplicadas, é difícil obter-se uma razoável explicação para as variações de comportamento dos minerais analisados.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o objetivo de avaliar as características quantitativas e qualitativas do efluente produzido, correlacionando-as com os níveis de compactação e umidade e a qualidade da silagem, foram realizados dois experimentos, utilizando capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) cv. Cameroon, ensilado em silos cilíndricos de PVC com dois teores de matéria seca (Experimento I - 13% e Experimento II - 25%) e cinco níveis de compactação que variaram conforme o tratamento: para o material ensilado com 13 % de matéria seca, foram aplicadas as pressões de 356,67; 446,67; 531,33; 684,00; e 791,00 kg/m³ e para o material ensilado com 25% de matéria seca, foram aplicadas as pressões de 294,67; 331,67; 387,00; 438,33; e 488,67 kg/m³.

Avaliando-se pH, nitrogênio amoniacal, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, fósforo e magnésio verificou-se que houve diferença significativa para ambos os experimentos, em função da compactação. Constatou-se uma razoável melhoria na qualidade da silagem, quando se aumenta o nível de matéria seca do material ensilado de 13 para 25 %.

O efeito da compactação ficou bastante evidenciado em relação às perdas ocasionadas pelo processo da ensilagem. Nas silagens de capim-elefante com alto teor de umidade, foram encontradas, para o tratamento de menor compactação (356,67 kg/m³), perdas proporcionais àquelas verificadas no tratamento com maior compactação (791,00 kg/m³). Apesar de produzir uma quantidade de efluente bem inferior ao tratamento de maior

compactação, a perda de matéria seca praticamente não diferenciou do tratamento de maior compactação, provavelmente este fato se deve à deterioração aeróbia, facilitada pela penetração de ar devido à reduzida densidade no silo.

Os dados apresentados sobre as características do efluente liberado das silagens referentes ao potencial poluidor, mesmo não sendo tão elevados quanto os apresentados por diversos autores citados na literatura, ainda são preocupantes.

A equação proposta por Sutter para se estimar a produção de efluente não se mostrou adequada para o cálculo de produção de efluente neste experimento. A que mais se aproximou do valor real foi a equação proposta por Bastiman, mesmo assim, se forem considerados os tratamentos que sofreram as maiores compactações (684 e 791 kg/m³).

A equação proposta por MILLER e CLIFTON (1965) também não é adequada por superestimar as perdas, quando se trata de silagem com 13 % de matéria seca e, para as silagens com elevado conteúdo de umidade, parece haver uma subestimação destes resultados, além de não levar em conta a compactação.

Pode-se dizer que, com referência às alterações do conteúdo de umidade, as características qualitativas da silagem certamente são modificadas, bem como o grau de perdas de matéria seca que possa ocorrer. Em se tratando de alterações provocadas pela compactação, ocorre uma significativa modificação no grau de perdas de matéria seca na silagem, bem mais do que variações qualitativas da silagem.

E, no caso de silagens de capim-elefante com umidade elevada, medidas adequadas devem ser tomadas, a fim de evitar a contaminação do meio ambiente pelo efluente produzido. Cuidados devem ser tomados, principalmente com a estrutura do silo, que deve possuir um adequado compartimento para coleta do efluente.

Da análise dos resultados obtidos, pode-se tirar algumas conclusões que servirão de orientação para a ensilagem de capim-elefante com alto e baixo teores de matéria seca:

- Realizar compactações próximas a 550 kg/m³ na ensilagem de capim-elefante com baixo (13 %) teor de matéria seca.

- Realizar compactações próximas a 490 kg/m^3 na ensilagem de capim-elefante com teor de matéria seca próximo a 25%.
- Na ensilagem de capim-elefante com baixo teor de matéria seca a quantidade de efluente produzido se eleva com o aumento da pressão de compactação.
- Perdas de nutrientes (carboidratos, proteína bruta e minerais) ocorrem, em quantidades significativas, através do efluente produzido de capim-elefante ensilado com 13% de matéria seca.
- O efluente produzido pela silagem de capim-elefante com alto teor de umidade apresenta um elevado potencial poluidor (DBO de $14.596,69 \text{ mg/l}$).
- Recomenda-se que novos estudos sejam conduzidos para o reaproveitamento e tratamento do efluente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLI, I., THIFFAULT, C., BAKER, B.E. A device for monitoring silage effluent produced in laboratory silos. **Journal Dairy Science**, v.68, n.12, p.3355-3359, 1985.
- ANSI/ASAE S424. **Method of determining and expressing particle size of chopped forage materials by screening**. St. Joseph, MI: ASAE STANDARDS, p.459-461.1993.
- BASTIMAN, B. Factors affecting silage effluent production. **Experimental Husband**, v. 31, p. 40-46, 1976.
- BENACCHIO, S. Niveles de melaza en silo experimental de millo criollo (*Sorghum vulgare*). **Agronomia Trop.**, v.14, p 291-297, 1965.
- BORREANI, G., TABACCO, E. Effects of crop properties, weather conditions and mechanical treatments on the wilting rate of diploid and tetraploid Italian ryegrass for silage. **Grass and Forage Science**, v. 53, p.179-188, 1998 .
- BUTLER, G.W.,BAILEY, R.W. **Chemistry and biochemistry of herbage**. London: Academic Press, 93p. 1973.
- CASTLE, M.E., WATSON, J.N. The relationship between the M.D. content of herbage for silage making and effluent production. **Journal of the British Grassland Society**, v. 28, p. 135-138, 1973.
- COPAM. **Legislação ambiental**. 3^a ed. Belo Horizonte: Imprensa Oficial, 183p. 1986.
- DAYNARD, T.B., ARNOLD R.L., BELLMAN H.E. Density – pressure – seepage relationships of whole – plant corn (*Zea mays* L.) silage. **Canadian Agricultural Engineering**, v. 20, p.45-52, 1978.

- FARIA, V.P. Técnicas de produção de silagens. In: FARIA, V.P. (Ed.) **Pastagens – fundamentos da exploração racional**. 2ª ed. Piracicaba: FEALQ, p.695-719. 1994.
- FEAM. Licenciamento ambiental: Coletânea de legislação. In: **MANUAL de saneamento e proteção ambiental para municípios**. Belo Horizonte: FEAM, 1998. 382 p.
- FISHER, L.J., ZURCHER, P., SHELFORD, J.A., SKINNER, J. Quantity and nutrient content of effluent losses from ensiled high moisture grass. **Canadian Journal Plant Science**, v. 60, p.307-312, 1981.
- GALANOS, E., GRAY, K.R., BIDDLESTONE, A.J., THAYANITHY, K. The aerobic treatment of silage effluent: effluent characterization and fermentation. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.62, p.271-279, 1995.
- GORDON, C.H., IRVIN, H.M., MELIN C.G., WISEMAN, H.G. Some experiments in preservation of high-moisture hay-crop silages. **Journal of Dairy Science**, v.40, p.789-798, 1957.
- GORDON, C.H. Storage losses in silage affected by moisture content and structure. **Journal of Dairy Science**, v. 50, p.397-403, 1967.
- GORDON, C.H., WISEMAN, H.G., DERBYSHIRE, J.C., JACOBSON, W.C. Effect on silage of chopping and bruising the forage. **Journal of Dairy Science**, v. 42, p.1394, 1958.
- GREENHILL, W.L. Plant juice in relation to silage fermentation. I The role of the juice. **Journal of the British Grassland Society**, v.19, p. 30-37, 1964a.
- GREENHILL, W.L. Plant juice in relation to silage fermentation. II Factors affecting the release of juice. **Journal of the British Grassland Society**, v.19, p. 231-236, 1964b.
- HAIGH, P.M. A review of agronomic factors influencing grass silage effluent production in England and Wales. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.57, p.73-87, 1994.
- HAIGH, P.M. Effect of additives on grass silage fermentation and effluent production, and on intake and liveweight change of young cattle. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 69, p.141-148, 1998.
- HAIGH, P.M. Silage dry matter content and predict effluent production in England and Wales 1984-1994. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.66, p.63-77. 1997.
- JONES, D.I.H., JONES, R. The effect of crop characteristics and ensiling methodology on grass silage effluent production. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 60, p.73-81, 1995.

- JONES, D.I.H., JONES, R. The effect of in-silo effluent absorbents on effluent production and silage quality. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 64, p.173-186, 1996.
- LAFETÁ, J.A.Q. **Avaliação da ensilagem, fenação natural, e artificial de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum)**. Viçosa, MG: UFV, 1984. 41p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1984.
- LAVEZZO, W. **Efeito da adição de cama de galinheiro ao capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum), sobre as características de fermentação e valor nutritivo da silagem**. Viçosa, MG: UFV, 1975. 66p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1975.
- LAVEZZO, W. Silagem de capim-elefante. **Informe Agropecuário**, v.11, p.50-57, 1985.
- MACHADO FILHO, L.C.P., MÜHLBACH, P.R.F. Efeito do emurchecimento na qualidade das silagens de capim-elefante cv. Cameroon (*Pennisetum purpureum* Schumach.) e de milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke), avaliadas quimicamente. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.15, p. 225-233, 1986.
- MAHANNA, B. Troubleshooting silages problems. In: STATE APPLIED NUTRITION CONFERENCE, 4. **Summary...** Pioneer Hi-bred International Inc., West Des Moines, p.1-21, 1993.
- MAYNE, C.S., GORDON F.J. Effect of harvesting system on nutrient losses during silage making. 2. In-silo losses. **Grass and Forage Science**, v. 41, p.341-351, 1986.
- McDONALD, P., HERDERSON, A.R., HERON, S.J.E. **The biochemistry of silage**. 2^a Ed. Malow: Chalcombe Publications, p. 167-249. 1991.
- McDONALD, P. **The biochemistry of silagem**. New York: John Wiley & Sons, 207p. 1981.
- MILLER, W.J., CLIFTON, C.M. Relation of dry matter content in ensiled material and other factors in nutrient losses by seepage. **Journal Dairy Science**, v.48, p.917-923, 1965.
- MOON, N.J., HENK, W.G. Progression of epiphytic microflora in wheat and alfalfa silages as observed by scanning electron microscopy. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 40, p.1122-1129, 1980.
- MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos**. Rio de Janeiro: ABES, 200p. 1995.

- MÜHLBACH, P.R.F. Uso de silagens na produção animal.. In: CICLO DE PALESTRAS EM PRODUÇÃO E MANEJO DE BOVINOS DE CORTE, 3. **Anais...** Universidade Luterana do Brasil, Canoas, p.40-53, 1998.
- O'DONNELL, C., WILLIAMS, A.G., IDDESTONE, A.J. The effects of pressure and stage of ensilage on the mechanical properties and effluent production potential of grass silage. **Grass and Forage Science**, v. 52, p.12-26, 1997.
- PATTERSON, D.C., WALKER, N. Preservation of silage effluent. **Journal Science Food Agric.**, v. 32, p.957-964, 1981.
- PITT, R.E., PARLANGE, J.Y. Effluent production from silage with application to tower silos. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 30, p.1198-1204. 1987.
- PURVES, D., McDONALD, P. The potential of silage effluent as a fertilizer. **Journal of the British Grassland Society**, v.18, p. 220-222, 1963.
- REYNOLDS, A.M., WILLIAMS, A.G. A model of silage consolidation and effluent flow. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.61, p.173-182, 1995.
- ROTZ, C.A., MUCK, E.M. Changes in forage quality during harvest and storage. In: FAREY JR., G.C. (Ed.) **Forage quality, evaluation, and utilization**. Madison: American Society of Agronomy, p.828-868. 1994.
- SILVA, D.J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: Impr. Universitária, 165p. 1990.
- SILVA, M.O.S.A. **Análises físico-químicas para controle de estação de tratamentos de esgotos**. São Paulo: CETESB, 266p. 1977.
- SILVEIRA, A.C., LAVEZZO, W., TOSI, H., GONÇALVES, D.A. Avaliação química de silagens de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) submetidas a diferentes tratamentos. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 8, p. 287-300, 1979.
- TOSI, H., BONASSI, I.A., SILVEIRA, A.C., FARIA, V.P. Avaliação química de capim-elefante cultivar Taiwan A-148. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 18, p. 62-72, 1983.
- VILELA, D. **Avaliação nutricional da silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), submetido a emurchecimento e adição de uréia na ensilagem**. Viçosa, MG: UFV, 1989, 186p. Dissertação (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1989.

- VILELA, D, RODDEN, B., OLIVEIRA, J.S. Avaliação da silagem de capim-elefante, acondicionada a vácuo em silos de superfície, utilizando-se novilhas em sistema de auto-alimentação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, p.663-673, 1983.
- WINTERS, A.L., WHITTAKER P.A, WILSON, R.K. Microscopic and chemical changes during the first 22 days in Italian ryegrass and cockfoot silages made in laboratory silos. **Grass and Forage Science**, v.42, p.191-196, 1987.
- WOOLFORD, M.K. **The silage fermentation**. New York: Marcel Dekker, 1984. 322p.

APÊNDICE

APÊNDICE

Quadro 1A - Resumo da análise de variância dos dados de fibra em detergente ácido (FDA) e fibra em detergente neutro (FDN) e digestibilidade *in vitro* na matéria seca em silagens com 13 % de matéria seca

FV	QUADRADOS MÉDIOS			
	GL	FDA MS	FDN MS	Digestibilidade MS
COMPACTAÇÃO	4	13,691	2,7834	9,4492
RESÍDUO	10	3,2193	2,7318	14,7989
CV (%)		4,07	2,37	6,55

Quadro 2A - Resumo da análise de variância dos dados de cinza, proteína bruta na matéria seca (MS), nitrogênio amoniacal e pH em silagens com 13 % de matéria seca

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS			
		Cinza MS	Proteína bruta MS	N amoniacal	pH
COMPACTAÇÃO	4	0,3839	0,7960	66,8648	0,0412
RESÍDUO	10	1,1100	0,6075	82,2373	0,0677
CV (%)		13,47	7,33	44, 248	5,70

Quadro 3A - Resumo da análise de variância dos dados de sódio, cálcio, magnésio, fósforo e potássio na matéria seca (MS) em silagens com 13 % de matéria seca

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS				
		Sódio MS	Cálcio MS	Magnésio MS	Fósforo MS	Potássio MS
COMPACTAÇÃO	4	1,47782E-06	0,005334	0,001081	0,001072	0,502482
RESÍDUO	10	7,48994E-06	0,011867	0,001972	0,000321	0,537618
CV (%)		13,30	25,01	22,15	9,14	18,27

Quadro 4A - Resumo da análise de variância dos dados de cinza, proteína bruta na matéria seca (MS), pH e nitrogênio amoniacal em silagens com 25 % de matéria seca

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS			
		Cinza MS	Proteína bruta MS	N amoniacal	pH
COMPACTAÇÃO	4	0,0430	0,0732	10,893	0,0021
RESÍDUO	10	0,3556	0,1508	5,6605	0,0002
CV (%)		9,83	4,88	29,066	0,40

Quadro 5A - Resumo da análise de variância dos dados de fibra em detergente ácido (FDA) e fibra em detergente neutro (FDN) e digestibilidade *in vitro* na matéria seca (MS) em silagens com 25 % de matéria seca

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS		
		FDA MS	FDN MS	Digestibilidade MS
COMPACTAÇÃO	4	0,26701	0,6008753	12,12380
RESÍDUO	10	0,20764	2,8031	4,20096
CV (%)		4,49	2,30	4,40

Quadro 6A - Resumo da análise de variância dos dados de sódio, cálcio, magnésio, fósforo e potássio na matéria seca (MS) em silagens com 25% de matéria seca

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS				
		Sódio MS	Cálcio MS	Magnésio MS	Fósforo MS	Potássio MS
COMPACTAÇÃO	4	1,0597E-05	0,00525	0,00132	0,00149	0,00547
RESÍDUO	10	3,9918E-06	0,00869	0,00187	0,00030	0,01272
CV (%)		11,83	19,79	13,63	9,39	5,98

Quadro 7A - Pontos de máximo e mínimo para nitrogênio amoniacal, proteína bruta, potássio, fibra em detergente ácido (FDA) e fibra em detergente em neutro (FDN) percentagem de matéria seca (MS) para silagens de capim-elefante com 13% de matéria seca

VARIÁVEIS	NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO	RESPOSTA MÁXIMA	RESPOSTA MÍNIMA
Nitrogênio amoniacal (%)	538,23	-	16,16
Proteína bruta MS (%)	592,08	11,18	-
Potássio MS (%)	597,87	4,44	-
FDA MS (%)	585,45	-	42,22
FDN MS (%)	598,15	-	68,85

Quadro 8A - Pontos de máximo e mínimo para fósforo, sódio, magnésio, pH, nitrogênio amoniacal, fibra em detergente ácido em percentagem de matéria seca (MS) para silagens de capim-elefante com 25% de matéria seca

VARIÁVEIS	NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO	RESPOSTA MÁXIMA	RESPOSTA MÍNIMA
Fósforo MS (%)	425,95	0,2038	-
Sódio MS (%)	363,51	0,0185	-
Magnésio MS (%)	405,82	-	0,2964
pH	367,35	-	3,8388
FDA MS (%)	358,99	46,9588	-

Quadro 9A - Teores médios observados em percentagem de matéria seca (MS) em função dos níveis da compactação para a proteína bruta, digestibilidade *in vitro*, fibra em detergente neutro (FDN) e fibra de detergente ácido (FDA), pH e nitrogênio amoniacal em silagens utilizando capim-elefante com 13% e 25% de matéria seca

VARIÁVEIS	COMPACTAÇÕES (kg/m ³)					COMPACTAÇÕES (kg/m ³)				
	13 % MS					25 % MS				
	356,67	446,67	531,33	684,00	791,00	294,67	331,67	387,00	438,33	488,67
Matéria seca	14,080	14,023	13,783	14,963	14,423	21,553	22,576	21,430	22,476	22,283
Proteína bruta MS (%)	10,019	10,552	11,426	10,744	10,444	7,902	7,756	7,962	8,186	7,997
Digestibilidade MS (%)	56,55	60,679	58,529	57,452	60,270	43,938	49,142	47,358	45,318	47,231
pH	4,693	4,503	4,420	4,676	4,530	3,860	3,850	3,823	3,876	3,893
Nitrogênio amoniacal (%)	21,805	17,597	16,171	19,799	27,100	6,042	6,891	8,161	9,339	10,494
FDA MS (%)	46,212	44,495	40,502	44,712	44,666	46,350	46,763	46,717	46,141	44,128
FDN MS (%)	70,853	69,5735	68,212	70,075	69,556	73,056	72,862	72,813	71,901	72,589
Cinza MS (%)	7,676	7,581	8,454	7,671	7,722	5,882	6,124	6,027	6,105	6,197
Fósforo MS (%)	0,167	0,190	0,195	0,213	0,212	0,148	0,193	0,187	0,207	0,192
Cálcio MS (%)	0,393	0,420	0,410	0,454	0,499	0,504	0,512	0,407	0,472	0,458
Sódio MS (%)	0,020	0,020	0,019	0,020	0,021	0,017	0,018	0,017	0,017	0,013
Magnésio MS (%)	0,182	0,192	0,196	0,197	0,232	0,343	0,324	0,285	0,310	0,320
Potássio MS (%)	3,616	3,843	4,346	4,544	3,712	1,929	1,833	1,852	1,887	1,925