

FORRAGEM VERDE HIDROPÔNICA DE MILHO PRODUZIDA EM
SUBSTRATOS ORGÂNICOS RESIDUAIS UTILIZANDO ÁGUA
RESIDUÁRIA DE BOVINO

MARCO ANTONIO PÍCCOLO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO - UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
DEZEMBRO - 2012

FORRAGEM VERDE HIDROPÔNICA DE MILHO PRODUZIDA EM
SUBSTRATOS ORGÂNICOS RESIDUAIS UTILIZANDO ÁGUA
RESIDUÁRIA DE BOVINO

MARCO ANTONIO PÍCCOLO

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal

ORIENTADOR : Fábio Cunha Coelho

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

DEZEMBRO - 2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCTA / UENF** 002/2013

Piccolo, Marco Antonio

Forragem verde hidropônica de milho produzida em substratos orgânicos residuais utilizando água residuária de bovino / Marco Antonio Piccolo. – 2012.

83 f.

Orientador: Fábio Cunha Coelho.

Tese (Doutorado - Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2013.

Bibliografia: f. 77 – 83.

1. Forragem hidropônica 2. Água residuária 3. Substratos orgânicos 4. Valor nutritivo 5. Milho hidropônico I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. II. Título.

CDD –
631.585
633.15

FORRAGEM VERDE HIDROPÔNICA DE MILHO PRODUZIDA EM
SUBSTRATOS ORGÂNICOS RESIDUAIS UTILIZANDO ÁGUA
RESIDUÁRIA DE BOVINO

MARCO ANTONIO PÍCCOLO

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal

Aprovado em 03 de dezembro de 2012

Comissão Examinadora:

Prof. Geraldo de Amaral Gravina (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF

Prof. Cláudio Roberto Marciano (D.Sc., Solos e Nutrição de Plantas) – UENF

Prof. Otacílio José Passos Rangel (D.Sc., Ciência do Solo) – IFES
(Co-orientador)

Prof. Fábio Cunha Coelho (D.Sc., Fitotecnia) – UENF
(Orientador)

Aos meus pais: Mário Pícolo e Celeste Sobreira Pícolo

À minha esposa: Vilma Aparecida Soares Pícolo.

Aos meus filhos: Mayra Soares Pícolo e Matheus Soares Pícolo.

Aos meus irmãos: Maria das Graças, Fátima, Penha, Mário, Márcio, Angelina, Emília, Aparecida e Marcelo... dedico.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por sempre me escutar, e estar sempre comigo, pela dádiva maravilhosa que é a minha família.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes – Campus de Alegre) pela oportunidade e suporte para a realização deste curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estágio obrigatório, referente ao Projeto Nº AUX-PE-DINTER-2460/2008.

Ao meu orientador, Prof. Fábio Cunha Coelho e ao meu co-orientador, Prof. Otacílio José Passos Rangel, pelo acolhimento, profissionalismo, conduta, apoio, confiança e amizade.

À minha esposa e filhos, pelo apoio constante e compreensão diante das dificuldades.

Aos professores do programa de pós-graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias (CCTA) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Ricardo Ferreira Garcia, Geraldo de Amaral Gravina, Paulo Marcelo de Souza, José Tarcísio Lima Thiebaut; Eliemar Campostrini, Ricardo E. Bressan-Smith, Cláudio Roberto Marciano, e Antonio C. da Gama Rodrigues, pelos ensinamentos e conhecimentos transmitidos durante o curso.

A Universidade Federal de Viçosa, através do Laboratório de Análises de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental, e ao

Laboratório de Análises de Alimentos – EMBRAPA – Gado de Leite pelas análises realizadas.

Aos professores Renato Ribeiro Passos e Edvaldo Fialho dos Reis, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA - UFES), pela valiosa ajuda e contribuição.

Ao amigo Otacílio José Passos Rangel, pelo incentivo e contribuições.

Aos meus colegas de doutoramento, na pessoa de Carlos José Coelho ou “Casé” (*In memoriam*), pela amizade durante o curso.

Aos técnicos administrativos do laboratório de Análise de Alimentos do Instituto Federal do Espírito Santo – Campus de Alegre, Alessandra e Idalino (Jibóia), pela contribuição.

A todas as demais pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu muito obrigado.

SUMÁRIO

| | |
|---|------|
| RESUMO | viii |
| ABSTRACT | x |
| 1INTRODUÇÃO | 1 |
| 2REVISÃO DE LITERATURA | 4 |
| 2.1 A hidroponia na produção de forragem | 4 |
| 2.2 Densidade de semeio e época de colheita da forragem hidropônica | 6 |
| 2.3 Substratos na hidroponia | 8 |
| 2.3.1 Características físicas e químicas de substratos | 8 |
| 2.3.2 Substratos como alimentos para ruminantes | 10 |
| 2.4 Solução nutritiva | 13 |
| 2.4.1 Solução nutritiva padrão para milho hidropônico | 14 |
| 2.4.2 Água residuária como solução nutritiva | 15 |
| 2.4.3 Água residuária de bovino | 16 |
| 2.5 Legislação pertinente | 17 |

| | |
|---|----|
| 2.5.1 Principais indicadores da qualidade da água residuária | 18 |
| 2.5.1.1 pH | 19 |
| 2.5.1.2 Temperatura | 19 |
| 2.5.1.3 Turbidez | 20 |
| 2.5.1.4 Condutividade elétrica | 20 |
| 2.5.1.5 Nitrogênio total | 20 |
| 2.5.1.5.1 Nitritos | 21 |
| 2.5.1.5.2 Nitratos | 21 |
| 2.5.1.6 Fósforo | 22 |
| 2.5.1.7 Ferro total | 22 |
| 2.5.1.8 Demanda química de oxigênio | 23 |
| 2.5.1.9 Demanda bioquímica de oxigênio | 23 |
| 2.6 Avaliação químico-bromatológica da forragem | 24 |
| 3 TRABALHOS | 29 |
| 3.1 Produção de forragem verde hidropônica de milho utilizando substratos orgânicos e água residuária de bovino. | 29 |
| Resumo | 29 |
| Abstract | 30 |
| Introdução | 31 |
| Material e Métodos | 34 |
| Resultados e Discussão | 40 |
| Conclusões | 46 |
| Referências | 47 |
| 3.2 Composição nutricional e digestibilidade <i>in vitro</i> da forragem verde hidropônica de milho produzida em substratos orgânicos utilizando água residuária de bovino. | 49 |
| Resumo | 49 |
| Abstract | 50 |
| Introdução | 51 |
| Material e Métodos | 53 |

| | |
|----------------------------|----|
| Resultados e Discussão | 59 |
| Conclusões | 71 |
| Referências bibliográficas | 72 |
| 4 RESUMOS E CONCLUSÕES | 75 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 77 |

RESUMO

PICCOLO, Marco Antonio; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; dezembro de 2012. Forragem verde hidropônica de milho produzida em substratos orgânicos residuais utilizando água residuária de bovino; Orientador: Prof. Fábio Cunha Coelho. Co-orientador: Prof. Otacilio José Passos Rangel.

A produção de forragem hidropônica é uma técnica que deve visar a competitividade, a eficácia e a sustentabilidade. Desta forma buscou-se, com o presente trabalho, avaliar a produção, o valor nutritivo e a digestibilidade *in vitro* da forragem verde hidropônica de milho (FVHM), produzida em diferentes substratos orgânicos, aplicando soluções nutritivas preparadas com diferentes concentrações de nitrogênio na água residuária de bovino (ARB). O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes) - Campus de Alegre. O experimento seguiu a um arranjo fatorial (4 x 5) + 4, cujos fatores e níveis foram: quatro substratos orgânicos [bagaço de cana de açúcar (*Saccharum* sp.) - (BC); casca de café conilon (*Coffea canephora*) - (CC); capim-

elefante (*Pennisetum purpureum* Schum cv Napier) - (CN) e; sem substrato - (SS), cinco soluções de água residuária de bovino (ARB) acrescida de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% do nitrogênio da solução nutritiva padrão utilizada para produção de milho hidropônico (SNP), mais quatro tratamentos adicionais com SNP para milho em cada substrato orgânico. A ARB era constituída de dejetos de bovinos (fezes e urina), do descarte de leite proveniente do teste de mamite, da água de desinfecção de ordenhadeira mecânica, da água de limpeza das instalações, do derrame de bebedouros e dos restos de alimentação. O experimento foi conduzido durante 15 dias, findo o quais as plantas foram colhidas para a avaliação de sua produção, análise da composição nutricional e digestibilidade *in vitro*. No primeiro trabalho foram avaliadas as produções de matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da base (MSBA) e matéria seca da planta toda (MSPT). No segundo trabalho foram avaliadas a composição nutricional (proteína bruta-PB, fibra em detergente neutro-FDN, fibra em detergente ácido-FDA e lignina) e a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), de toda a forragem produzida (raiz + sementes não germinadas + parte aérea da planta). No primeiro trabalho concluiu-se que a água residuária de bovino (ARB) pode ser utilizada em substituição à solução nutritiva padrão (SNP) na produção da forragem verde hidropônica de milho (FVHM), e que o enriquecimento da ARB com nitrogênio não promoveu um incremento significativo na produção de matéria seca da FVHM. Entre os substratos avaliados, o capim napier (CN) e o bagaço de cana-de-açúcar (BC) apresentaram os melhores desempenhos no desenvolvimento da parte aérea da FVHM, com um incremento na produção de MSPA na ordem de 85,6% e 66,6%, respectivamente, em relação ao sem substrato (SS), e de 86,6% e 69,8%, em relação ao casca de café (CC). Os resultados obtidos no segundo trabalho permitiram concluir que o substrato afeta o valor nutritivo das forragens para todos os componentes analisados (PB, FDN, FDA, lignina e DIVMS), tendo a forragem produzida nos substratos BC e CN apresentado as melhores características para forragem de boa qualidade. Apenas no substrato CN foi observada diferença entre as soluções nutritivas (SNP x concentrações de N na ARB), onde a ARB promoveu um incremento no teor proteico e redução no teor de lignina da FVHM. Os resultados obtidos nos trabalhos indicam o potencial de utilização da ARB e dos substratos BC e CN na produção de uma forragem de boa qualidade nutricional.

ABSTRACT

PICCOLO, Marco Antonio, D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; december 2012. Hydroponic forage of maize produced on organic substrates using bovine wastewater; Advisor: Fabio Cunha Coelho. Co-Advisor: Prof. Otacilio Jose Passos Rangel.

The hydroponic forage production is a technique that should target the competitiveness, effectiveness and sustainability. Thus we sought to evaluate the present work production, nutritive value and in vitro digestibility of forage maize produced hydroponically in different organic substrates, using nutrient solutions prepared with different concentrations of nitrogen in wastewater and veal (ARB). The experiment was conducted in a greenhouse at the Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) - Campus Alegre. The experiment followed a factorial arrangement $(4 \times 5) + 4$, whose factors and levels were: four organic substrates

[sugar cane bagasse (*Saccharum* sp.) - (BC); conilon coffee husk (*Coffea canephora*) - (CC), elephant grass (*Napier Pannisetum purpureum* Schum cv) - (CN) and, without substrate - (SS)], five wastewater solutions and veal (ARB) plus (0, 25, 50, 75 and 100% of nitrogen in standard nutrient solution used for hydroponic production of maize - SNP) plus four additional treatments for SNP corn in each organic substrate. The ARB consisted of cattle manure (feces and urine) of discarded milk from mastitis test, water disinfection of milking machine, water cleaning facilities, drinkers spill and debris supply. The experiment was conducted for 15 days, after which the plants were harvested for evaluation of production, analysis of the nutritional composition and digestibility in vitro. In the first study we evaluated the production of dry matter (MSPA), dry matter basis (MSBA) and the whole plant dry matter (MSPT). In the second study evaluated the nutritional composition (crude protein-CP, neutral detergent fiber-FDN, acid detergent fiber-FDA and lignin) and in vitro digestibility of dry matter (IVDMD), all the forage produced (root + seed ungerminated + shoots of the plant). In the first study concluded that wastewater beef (ARB) can be used to replace the standard nutrient solution (SNP) in the production of hydroponic forage maize (FVHM) and the ARB's enrichment with nitrogen did not cause a significant increase in dry matter production of FVHM. Among the substrates, the napier grass (CN) and bagasse-cane (BC) showed the best results in the development of shoot FVHM, with an increase in the production of MSPA in order of 85.6 and 66, 6%, respectively, compared to no substrate (SS), and 86.6 and 69.8%, compared to coffee husk (CC). The results obtained in the second study indicate that the substrate affects the nutritive value of forages analyzed for all components (CP, NDF, ADF, lignin and IVDMD), and the forage produced on substrates CN and BC presented the best characteristics for forage good quality. Only the substrate CN difference was observed between the nutrient solutions (SNP x N concentrations in ARB), where the ARB promoted an increase in protein content and a reduction in lignin content of FVHM. The results obtained in studies indicated the potential use of ARB and various substrates CN and BC in the production of a fodder of good nutritional quality.

1 INTRODUÇÃO

Produzir alimentos volumosos para ruminantes é um desafio. Desafio ainda maior é reunir o maior número de atributos desejáveis a uma forragem, buscando atender as necessidades de diversas categorias animais nas diferentes espécies, sob diferentes sistemas de produção, que não apresente os efeitos da sazonalidade na sua produção, que possa ser produzida em qualquer região e com baixo custo, que seja acessível aos produtores rurais, desde os menos tecnificados aos mais assistidos tecnologicamente e que ainda ofereça uma contribuição no sentido de diminuir o impacto ambiental, fruto dos modernos sistemas intensivos de exploração.

O cultivo da forragem hidropônica é uma tecnologia de produção que se destaca por apresentar vantagens como: ciclo curto, produção contínua fora de época, com menor risco de adversidades meteorológicas, aplica-se em qualquer estação do ano, adapta-se a várias espécies vegetais, requer baixo consumo de água, a produtividade é elevada, e dispensa o uso de agrotóxico e de investimentos em maquinário para execução dos processos de conservação da forragem ou seu armazenamento (FAO, 2006).

Difundida em diversos países, sua possibilidade de produção de alimentos se alia à possibilidade de minimização de diversos problemas

ambientais, como diminuição do consumo de água nos cultivos agrícolas, diminuição da contaminação dos solos e corpos d'água receptores dos dejetos lançados pelas explorações zootécnicas, além da possibilidade de otimização no manejo dos níveis de nutrientes necessários para produção agrícola (FAO, 2006).

A forragem hidropônica resulta de um processo de germinação de sementes de cereais (milho, cevada, sorgo, entre outras), desenvolvido em um período de 10 a 15 dias, captando energia do sol e absorvendo os nutrientes contidos em uma solução nutritiva. A forragem produzida pode ser administrada aos rebanhos em sua totalidade (sementes, folhas, caules, raiz), e quando se utiliza como substrato materiais orgânicos, estes também poderão ser incorporados na dieta, desde que não sejam depressores do consumo e da digestibilidade de alguns nutrientes. (Campêlo, 2007).

Os substratos utilizados em hidroponia têm como finalidade principal a fixação mecânica das plantas, mas também precisam apresentar algumas características importantes ao processo, como baixo custo, disponibilidade na propriedade, pH entre 5,6 e 7,0, baixa concentração de sais, possuir volume estável, capacidade de armazenarem certa quantidade de água em seus microporos, e ar nos macroporos, provendo as raízes de oxigênio, necessário à respiração celular. Cada substrato possui características próprias que devem ser conhecidas, avaliando-se em cada caso sua adequação ao sistema e a cultura que se quer produzir (Martinez e Silva Filho, 2006).

A solução nutritiva é um dos componentes mais importantes de todo processo hidropônico. Não existe uma solução nutritiva que seja única para todas as espécies vegetais, mesmo que todas as plantas necessitem dos mesmos nutrientes, estes são exigidos em concentrações diferentes por cada espécie. A solução nutritiva pode variar dentro de limites toleráveis de pH, pressão osmótica, e composição. Mas, a solução nutritiva apropriada deve conter no mínimo todos os nutrientes, em quantidades equilibradas de acordo com as necessidades da cultura (Resh, 1997).

A escassez de água no planeta e o aumento da poluição preocupam as populações. A utilização de águas residuárias, que não é um conceito novo (Osburn e Burkhead, 1992; Soares et al., 2006; Santos et al., 2010), e que tem sido praticada em todo o mundo, vem ganhando importância com a redução da disponibilidade de recursos hídricos de boa qualidade. Para a agricultura, o uso

dessas águas é uma alternativa importante, pois permite o aproveitamento potencial das águas e dos nutrientes nelas contidos para o crescimento de plantas.

Na pecuária leiteira os dejetos diluídos e as águas de lavagem das instalações e equipamentos geram grandes volumes de águas residuárias, as quais são fontes de poluição ambiental. Os pequenos e médios produtores, que são parcela significativa no processo produtivo, raramente possuem um sistema satisfatório para manejo de efluentes. Na atividade leiteira, onde os animais são mantidos em confinamento (*free stall* e *tie stall*), em média cada animal produz 48 kg de esterco sólido, que somado à urina e à água utilizada nas lavagens de equipamento e instalações, chega-se a um volume estimado de 100 L de resíduos cabeça⁻¹ dia⁻¹, gerando, dessa forma, grande volume de água residuária, que é fonte de poluição ambiental (Wolters e Boerekamp, 1994).

Essas águas residuárias apresentam uma carga orgânica elevada, o que associada às concentrações de nutrientes como nitrogênio, fósforo, cobre, sódio entre outros, constitui-se em risco de desequilíbrio ecológico, quando lançados de forma inadequada no meio ambiente. As águas residuárias podem apresentar nutrientes em quantidades suficientes para serem utilizadas na fertirrigação das culturas agrícolas (FAO, 2006).

Este estudo foi proposto em razão da falta de dados acerca da possibilidade de utilização da água residuária de bovino na produção de forrageira em cultivo hidropônico, da busca de alternativa de baixo custo para destinação e tratamento destas águas, além da necessidade de obtenção de forragens de qualidade, principalmente para os períodos de escassez, estimulando o consumo de resíduos agrícolas com alto potencial de aproveitamento.

Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a produção, o valor nutritivo e a digestibilidade *in vitro* da forragem verde hidropônica de milho produzida em diferentes substratos orgânicos (bagaço de cana de açúcar, capim elefante cv napier e casca de café), aplicando soluções nutritivas preparadas com diferentes concentrações de nitrogênio na água residuária de bovino (ARB).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A hidroponia na produção de forragem

O cultivo de forragem hidropônica é uma tecnologia de produção de fitomassa obtida por meio de germinação de sementes viáveis e do crescimento inicial de plantas. Para forragem hidropônica, geralmente são utilizadas plantas de crescimento acelerado, com ciclo curto de produção e elevado rendimento de fitomassa fresca. O sistema requer baixo consumo de água, dispensa o uso de agrotóxico, produz um alimento com baixo conteúdo de fibras, alto teor protéico, boa digestibilidade, com grande quantidade de aminoácidos livres, que são facilmente aproveitados pelos animais (Santos, 2004).

Sementes de cevada, milho, trigo e aveia, entre outras espécies de cereais, com desenvolvimento em um período de 8 a 10 dias, captando energia do sol e absorvendo os minerais contidos em uma solução nutritiva podem ser utilizados na produção de forragem hidropônica com excelente qualidade e quando administrada aos rebanhos na sua totalidade (sementes, folhas, caules, raiz), constitui dieta completa em carboidratos, açúcares, proteína, minerais e vitaminas. Seu aspecto, sabor, cor e textura, conferem ótima palatabilidade, aumentando o consumo de outros alimentos (FAO, 2006).

As plantas que são cultivadas convencionalmente, no solo, têm este meio como suporte mecânico, onde as raízes se ramificam em sua matriz. Mas este fato também ocorre na hidroponia, em que são utilizados materiais inertes, onde o caule (parte aérea) ficará fora e as raízes fixadas nestes e imersas na solução nutritiva. São feitas adaptações para cada tipo de cultura empregada e hábito de desenvolvimento de suas raízes, sem que haja limitação no desenvolvimento da planta (Boaretto, 2008).

Oliveira et al. (2001), avaliando a produção de forragem de milho, utilizando guandu e bagaço de cana como substratos, em duas quantidades (2 e 4 kg de matéria seca m⁻²) e com colheita aos 22 dias após a semeadura, concluíram que a qualidade do substrato utilizado influenciou diretamente na qualidade da forragem produzida.

Segundo Henriques (2000), a grande vantagem do uso de forragem hidropônica é sua alta produção de fitomassa fresca por área, sendo que a forragem hidropônica de milho pode atingir mais de 6.000 t ha⁻¹ ano⁻¹.

Araújo et al.(2008) afirmam que a utilização de substratos e solução nutritiva mais baratos e de fácil acesso aos produtores é fundamental para que a hidroponia de forragens seja economicamente viável.

Diversos resíduos orgânicos vêm sendo utilizados como substrato na produção de forragem de milho hidropônico. No estudo realizado por Campêlo (2007), foi avaliada a produção de forragem hidropônica de milho utilizando como substratos orgânicos a casca de arroz e o capim elefante picado. O autor verificou que a casca de arroz como substrato resultou numa forragem de qualidade inferior, por ter apresentado altos teores de cinzas e fibra, mesmo com uma maior produção de matéria seca. A forragem produzida no substrato capim elefante picado continha maior teor de proteína bruta, mesmo que com menor produção de matéria seca. Esses resultados indicam que na avaliação da forragem produzida no sistema hidropônico com uso de substratos orgânicos, deve haver um equilíbrio entre quantidade e qualidade do alimento produzido.

Avaliando-se as características físicas de bagaço de cana-de-açúcar com diferentes tamanhos e partículas, verificou-se que este apresenta boas características físicas por um período suficientemente longo, podendo ser utilizado na produção de mudas por apresentar estabilidade de partícula, além de ser um resíduo amplamente disponível (Spier, 2008).

Consentino e Souza (2004) destacam a importância da utilização da palha da cana-de-açúcar na produção de forragem verde hidropônica, destacando o aproveitamento de resíduos na produção de alimentos. Os autores constataram que em cada hectare de cana plantado, há uma produção de 9 a 14% de palha, e assim, se este for utilizado como substrato para a obtenção de forragem verde hidropônica (FVH), poderá ser colhido, na mesma área, 18 a 24 vezes mais forragem por ano, para a alimentação animal.

Paulino (2004), trabalhando com forragem hidropônica de milho, utilizando canteiros forrados por feno de tifton picado, atuando como substrato, formando uma camada de 1,5 a 2,0 cm de altura, obteve maior produtividade de matéria seca de milho hidropônico, utilizando o dobro da quantidade de solução hidropônica recomendada comercialmente. As características químico-bromatológicas: proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina (LIG) e digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS), e os teores dos compostos nitrogenados insolúveis em detergente neutro (NiFDN) e em detergente ácido (NiFDA) na forragem hidropônica do milho, não mostraram diferenças entre si.

2.2 Densidade de semeio e época de colheita da forragem hidropônica

Um aspecto relevante na produção da forragem hidropônica de milho é a densidade de semeio.

Pode-se produzir forragem hidropônica de espécies como arroz, aveia, cevada, centeio, milheto, milho, trigo e sorgo em diversas condições ambientais. Entretanto, são escassas as informações relacionadas à densidade de sementes para cada espécie cultivada, bem como a idade ideal para se colher o material produzido.

Conforme FAO (2006), para o cultivo de forragem hidropônica de milho, a densidade de semeadura ótima está entre 2,2 a 3,4 kg m⁻². Entretanto, Isepon (2002) não obteve diferença significativa para teor de proteína bruta, fibra em detergente neutro (FDN) e fibra detergente ácido (FDA), em forragem hidropônica de milheto cultivado com densidades de semeadura desde 0,5 até 3,0 kg m⁻².

Araújo et al. (2008), trabalhando com 5 densidades de semeio de milho (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; e 2,5 kg m⁻²), cultivado em bagaço de cana-de-açúcar, tendo o

vinhoto como solução nutritiva, obtiveram para a densidade de 2 kg m^{-2} , produções de 22,71 e 34,02 kg m^{-2} de matéria natural, com colheita aos 10 e 20 dias respectivamente. Oliveira et al.(2001) sugerem a densidade de plantio 3,5 kg m^{-2} de sementes de milho m^{-2} . Rego Filho et al. (2003) afirmam não ocorrer diferença de produtividade entre as densidades de plantio 2 e 3 kg m^{-2} de sementes de milho m^{-2} , enquanto que Campêlo (2007), ao avaliar produção e qualidade da forragem hidropônica de milho utilizando 2,5 kg m^{-2} , em dois tipos de substratos, obteve 24,5 e 21,5 kg m^{-2} de matéria natural, respectivamente, para os substratos casca de arroz e capim elefante.

Pilau et al. (2004), ao avaliarem as densidades de semeadura 2,0 e 3,0 kg m^{-2} na produção de forragem hidropônica de milho, não observaram diferença significativa na produção de matéria seca, no teor de proteína bruta e na fibra bruta. Já Amorin et al. (2001), ao avaliarem forragem hidropônica de milho, com densidade 1,0 e 2,0 kg m^{-2} , obtiveram maior teor protéico na densidade mais elevada. O cultivo da forragem hidropônica de milho, com densidade de semeadura de 2 kg m^{-2} , proporciona maior produção de matéria fresca e teor de proteína bruta e menor teor de fibra em detergente neutro e ácido, resultando em boa qualidade nutricional (Liziany, 2006).

Neves (2009) trabalhando com densidade de 1 kg m^{-2} de sementes de milho sobre bagaço de cana, obteve 21,5 kg m^{-2} de matéria natural para planta toda, com colheita aos 30 dias após o semeio.

A determinação do momento mais adequado para colheita também é um fator a ser considerado na produção de forragem. O estágio da planta influencia o valor nutritivo da forragem, pois à medida que a planta cresce as porções fibrosas aumentam, enquanto o teor proteico e a digestibilidade da matéria seca diminuem (Van Soest, 1994).

A colheita da FVHM deve ser realizada num período de 7 a 10 dias, tempo suficiente para atingir boa produção em sistema hidropônico, sendo que idades mais avançadas seriam inconvenientes devido à diminuição de fitomassa seca e da qualidade nutricional da forragem produzida (FAO, 2006).

Na produção de forragem hidropônica, colheitas precoces podem resultar em baixo rendimento por área, entretanto colheitas tardias podem acarretar grande competição entre plantas e perda de qualidade nutricional

2.3 Substratos na hidroponia

Conceitualmente, a classificação de substrato, ou meio de crescimento, se aplica aos materiais utilizados para o desenvolvimento da semente, os quais devem ser capazes de sustentar e fornecer nutrientes às plantas. Os substratos podem ser confeccionados a partir de diferentes matérias primas, sejam elas de origem mineral, orgânica ou sintética, de um só material ou de diversos materiais em misturas (Andrade Neto et al., 2002).

Dentre os materiais utilizados como substrato, o aproveitamento de resíduos da agroindústria disponíveis na região é opção de baixo custo, além de auxiliar na redução do acúmulo no ambiente, pois além de serem considerados potenciais problemas ambientais, representam perdas de matéria-prima e energia, exigindo investimentos significativos para controlar a poluição (Lima et al., 2007; Pelizer et al., 2007).

2.3.1 Características físicas e químicas de substratos

A meta-fim de um substrato é produzir uma planta de alta qualidade, em menor tempo e a baixo custo (Abreu et al., 2002).

Dentre as propriedades físicas utilizadas para caracterizar um substrato merecem destaque a densidade e a relação entre a fração sólida e o espaço poroso. As características do espaço poroso, por sua vez, determinam o espaço de aeração e a capacidade de retenção de água pelo substrato. Uma vez que o substrato esteja no recipiente, e a planta esteja crescendo, é praticamente impossível modificar suas características físicas básicas, enquanto que as características químicas dos substratos podem ser modificadas mediante técnicas de cultivo adequadas (Bardhan et al., 2008).

Segundo Araújo et al. (2007), as características desejáveis de componentes orgânicos usados na confecção dos substratos são as seguintes: grande quantidade de microporos, que aumentam a capacidade de retenção de água; textura adequada, para que não haja compactação excessiva; capacidade de troca de cátions relativamente alta, no sentido de auxiliar na retenção e troca de nutrientes; e baixo peso (baixa densidade aparente), para facilitar o transporte e o manuseio.

Resíduos agrícolas como fibra de coco, casca de arroz carbonizada e bagaço de cana-de-açúcar, estão entre os materiais que demonstraram grande potencial como substrato no cultivo de algumas espécies de plantas, segundo Meurer et al. (2008) e Yamamoto et al. (2009). Segundo Pandey et al. (2000), a casca de café é um resíduo a ser testado como substrato, estando disponível em diversos estados brasileiros. Entretanto, alguns autores como King e Ambika (2002) e Rosa et al. (2006), destacam o alto teor de compostos fenólicos, como a cafeína e o tanino, proporcionando efeitos alelopáticos na germinação de sementes e no desenvolvimento de plântulas de diversas espécies.

Cada substrato possui características próprias, que devem ser conhecidas, avaliando-se em cada caso sua adequação ao sistema de cultivo e a cultura que se deseja produzir. O grau de decomposição; pH; capacidade tampão; capacidade de troca catiônica (CTC); condutividade elétrica (CE) e concentração de sódio; densidade; e disponibilidade de água e ar, (além de outros fatores como custo, disponibilidade, estabilidade ao longo do tempo, possibilidade de uso continuado em vários ciclos de produção e isenção de toxinas e patógenos), são aspectos desejáveis em substratos utilizados na hidroponia (Martinez e Silva Filho, 2006).

Segundo Liz (2006), um dos primeiros passos para o monitoramento do uso de resíduos, transformados em substrato agrícola, deve ser a avaliação das variáveis físicas e químicas da matéria-prima a ser aproveitada. Na avaliação dessas variáveis pode-se destacar, entre outros: a determinação da densidade do material seco ao ar e seco em estufa, a distribuição do tamanho de partículas, a curva característica de retenção de água, a determinação do pH e da condutividade elétrica.

O pH corresponde ao hidrogênio dissociado existente em solução, em equilíbrio com a acidez da fase sólida do solo e outros substratos. A condutividade elétrica (CE) é uma estimativa do teor total de sais presentes em uma solução. No entanto, para a determinação da condutividade elétrica em substratos ainda não existe um consenso entre os pesquisadores (Liz, 2006).

Raij et al. (2001) descrevem que com o pH na faixa de 5,0 a 6,0, a maioria dos nutrientes são facilmente absorvidos pelas plantas. Estando o pH abaixo de 5,0, plântulas de hortaliças podem manifestar deficiências de alguns nutrientes, entre eles: N, K, Ca, Mg e B. Acima de 6,5 ocorre redução da absorção de P, Fe,

Mn, B, Zn e Cu. Os óxidos metálicos de Fe, Mn, Cu, Zn, entre outros, se mantêm solúveis quando o pH é menor que 5,0, podendo, em função da concentração, tornarem-se fitotóxicos.

A determinação do tamanho das partículas de um substrato utilizado no cultivo de plantas ajuda na adequação do mesmo à espécie vegetal. Fermino (2003) relata que a maior proporção de partículas grossas em relação a partículas finas favorece maior espaço de aeração, enquanto que uma proporção inversa favorece a retenção de água, podendo acarretar falta de oxigenação para as raízes das plantas. Segundo Bosa et al. (2003), os valores ideais para a densidade de substratos agrícolas variam entre 0,17 a 1,0 g cm⁻³. Portanto, conhecendo-se a densidade do substrato que será usado na produção e a distribuição do tamanho de partículas do mesmo, pode-se presumir se o substrato irá oferecer condições ideais de oxigenação para as raízes, principalmente quando existe possibilidade de erro na quantidade de água aplicada na irrigação.

2.3.2 Substratos como alimentos para ruminantes

Dentre os possíveis subprodutos agrícolas, com potencial para funcionar como substrato para forragem hidropônica de milho está a casca de café, resíduo descartado em grande volume no ambiente.

No Brasil, ainda predomina o preparo do café por via seca, no qual não há separação da polpa, mucilagem e casca. Assim, a industrialização deste produto resulta em proporções semelhantes de café beneficiado e casca (Vegro e Carvalho, 1994).

Vale destacar ainda que o volume de casca de café produzida, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, em seu acompanhamento da safra brasileira, a previsão para a atual safra 2012 indica produção de 50,8 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado, (Conab, 2012). Como a relação entre a obtenção do grão beneficiado e a casca é de 1:1, aproximadamente 3,0 milhões de toneladas de casca de café serão produzidas pela cafeicultura brasileira. Esses resíduos são utilizados como adubo orgânico por poucos produtores na própria lavoura ou em outros cultivos, sendo a maioria descartados.

A casca de café pode ser utilizada na agricultura como excelente fornecedora de matéria orgânica, sendo um dos principais adubos orgânicos, fonte de potássio e nitrogênio. Na alimentação de ruminantes, a casca de café também pode ser utilizada, pois apresenta um alto nível de proteína bruta, quando comparada a outros resíduos agrícolas, apesar da baixa digestibilidade. A casca de café também pode entrar na composição de rações para ruminantes (Barcelos et al., 1997).

A casca de café apresenta um alto nível de proteína bruta (PB), quando comparada a outros resíduos agrícolas, porém de baixa digestibilidade (38,6%). O conteúdo de fibra bruta (FB) oscila entre 19,5% e 42,4% da matéria seca, com coeficiente de degradabilidade também baixo (28%). Vários fatores contribuem para essa baixa degradabilidade, tais como os altos teores de lignina (36%), presença de cafeína (0,4% a 1,5%), taninos (1,6% a 2,9%) e compostos fenólicos (0,6%) (Rodrigues et al., 2009).

Vacas holandesas, que receberam ração concentrada contendo 0, 10, 20, 30% de casca de café em substituição ao fubá de milho, apresentaram produções médias diárias de 16,9 kg de leite e consumo de 6,8 e 6,2 kg de MS dia⁻¹ para concentrado e volumoso, respectivamente, não havendo efeito significativo para os níveis de inclusão de casca de café. Os componentes e indicadores de qualidade do leite também não foram alterados, além de não ter sido encontrado resíduos de cafeína. No entanto, os custos de produção das rações contendo casca de café foram inferiores em relação aos com fubá de milho em 8%, 15% e 16%, respectivamente, para os níveis de inclusão de 10%, 20% e 30% de casca de café (Barcelos et al., 1995)

Em outro ensaio, realizado pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG, onde o milho desintegrado com palha e sabugo foi substituído por casca de café, em níveis de 0%, 10%, 20%, 30% e 40% na ração ministrada aos novilhos em confinamento, foram observados que os ganhos de peso de 1,07 kg animal⁻¹dia⁻¹ não foram afetados até o nível de inclusão de 30% de casca de café na substituição. Com 40% de substituição, os ganhos foram inferiores aos demais tratamentos (0,88 kg animal⁻¹dia⁻¹). A relação custo-benefício foi melhor para todas as rações que utilizaram a casca de café. O estudo recomendou a inclusão da casca de café na dieta de ruminantes entre 20 e 30% em substituição milho desintegrado com palha e sabugo, dependendo dos

níveis de cafeína e taninos, os quais não devem ultrapassar os limites de 0,12 e 0,80% da matéria seca total, respectivamente (Barcelos et al., 1997).

Outro subproduto agrícola importante, considerando sua imensa disponibilidade, coincidente com a entressafra de produção de forragem, é o bagaço de cana-de-açúcar, que tem revelado grande potencial de utilização na alimentação de ruminantes, além de ser um destino sustentável ao resíduo.

O bagaço da cana-de-açúcar, resultado da extração do caldo após esmagamento nas moendas, é o maior resíduo da agroindústria brasileira. Segundo Burgi (1985) de cada tonelada de cana moída na indústria obtêm-se 700 litros de caldo e 300 kg de bagaço (com 50% de MS). Portanto, das 625 milhões de toneladas de cana moída nas usinas e destilarias do Brasil (safra 2010/2011), a cada ano, são gerados 187,5 milhões de toneladas de bagaço de cana-de-açúcar.

O valor nutritivo desse resíduo lignocelulósico é baixo, devido às ligações que ocorrem na parede celular entre a celulose, a hemicelulose e a lignina. As fibras do bagaço da cana contêm, como principais componentes, cerca de 40% de celulose, 35% de hemicelulose e 15% de lignina, sendo este último responsável pelo seu baixo aproveitamento na alimentação animal (Burgi, 1985).

A utilização do bagaço de cana como substrato na produção de forragem hidropônica e conseqüentemente na alimentação de ruminantes está na dependência da viabilidade técnica e econômica, levando-se em consideração as vantagens e limitações do seu valor nutritivo.

O bagaço pode ser melhor aproveitado na alimentação animal, desde que tecnicamente manuseado. Esse subproduto apresenta baixa digestibilidade, é pobre em proteína, minerais e vitaminas; é rico em parede celular fortemente lignificada por ocasião do amadurecimento da planta. A celulose, fonte básica de energia para os ruminantes, tem seu aproveitamento comprometido pela lignificação (Teixeira et al., 2007).

Segundo Neves (2009), o bagaço de cana-de-açúcar é o substrato ideal para o cultivo da forragem de milho hidropônico, no entanto é necessário estar seco e fermentado, para evitar aquecimento durante o cultivo, prejudicando o crescimento da forragem. O autor afirma ainda que outros substratos podem ser testados, mas antes devem ser desidratados e que não apresentem restrições ao consumo dos animais, pois estes serão fornecidos junto com o milho.

Outra alternativa como forma de mitigar o problema nutricional na alimentação dos animais ruminantes é a utilização de espécies forrageiras (capins), que se apresentam em avançado estágio de maturação fisiológica. Van Soest (1994) diz que o estágio de maturidade da planta forrageira no momento da colheita influencia no seu valor nutricional mais que outro fator qualquer, pois, à medida que a planta cresce e se desenvolve, a quantidade de porções fibrosas produzidas aumentam, enquanto o teor protéico e a digestibilidade da fitomassa seca diminuem. Além disso há o efeito deletério da maturação sobre o valor nutritivo da forragem. Paciullo et al. (2008) destacam também os efeitos do clima no volume de forragem produzida, além das mudanças no valor nutritivo do capim-elefante, em função da estação do ano. O baixo rendimento das forragens e o comprometimento do valor nutricional, no período da seca, são importantes causas do baixo desempenho do rebanho manejado sob condições de pastejo. Esse efeito se manifesta com maior intensidade durante o inverno, quando há redução na disponibilidade de forragem.

2.4 Solução nutritiva

A solução nutritiva representa a diluição em água dos elementos pré-determinados para a boa nutrição da planta, onde os nutrientes ficarão disponíveis para absorção (Alberoni, 1998).

O nitrogênio (N) é um dos principais nutrientes para manutenção da produtividade das forrageiras, pois é constituinte essencial dos aminoácidos, proteínas, hormônios e clorofila, além de ser um dos nutrientes mais extraídos pelas plantas (Lavres, 2001) e participar diretamente no processo fotossintético, por meio de sua presença na molécula de clorofila (Werner, 1994).

Não existe uma solução nutritiva única e melhor para o cultivo de uma determinada espécie ou variedade, uma vez que os mecanismos de absorção, transporte e distribuição dos nutrientes mudam de acordo com a espécie, variedade, estação do ano e fase de desenvolvimento da cultura (Teixeira, 1996).

Segundo Alberoni (1998), existem alguns fatores que devem ser controlados na solução nutritiva para o completo e perfeito desenvolvimento da planta. A temperatura não deve ultrapassar os 30°C, sendo que a faixa ótima ao bom desenvolvimento das plantas é de 18° a 24° C, em períodos quentes (verão),

e de 10° a 16°C, em períodos frios (inverno). Temperaturas muito acima ou abaixo desses limites causam danos à plantas, bem como uma diminuição na absorção dos nutrientes e, conseqüentemente, uma menor produção.

Outro fator muito importante é a oxigenação da solução nutritiva. É preciso oxigenar a solução constantemente para obter um bom nível de absorção dos nutrientes. Quando se dissolvem sais na água, sua pressão osmótica aumenta, ou seja, a tendência que a solução tem de penetrar nas raízes diminui, até o ponto que deixa completamente de penetrar e começa a retirar a água das plantas. Isso ocorre pelo fato de a água se movimentar de um meio hipotônico para um meio hipertônico ou, seja, de um meio menos concentrado para um meio mais concentrado em sais. Por isso, a solução deve conter os nutrientes nas proporções adequadas, mas suficientemente diluídas para não causar danos ao desenvolvimento das plantas (Neves, 2008).

Alberoni (1998) destaca ainda a necessidade de controle da condutividade elétrica (CE) da solução, uma vez que a CE determina quanto de adubo há na solução (quantidade de íons). Quanto mais íons tiver na solução, maior será a CE. Os valores ideais da CE na solução ficam na faixa de 1,5 a 3,5 mS cm⁻¹, que corresponde a 1.000 à 1.500 ppm de concentração total de íons em solução. Valores acima dessa faixa são prejudiciais à planta, enquanto valores inferiores indicam a deficiência de um ou mais elemento, embora não se saiba quais e em que quantidade. A resposta só pode ser obtida com a análise química laboratorial da solução nutritiva. O autor destaca ainda que o pH da solução nutritiva é tão importante quanto a CE, pois as plantas não conseguem sobreviver com valores abaixo de 3,5. Os efeitos do pH podem ser diretos, quando houver a ação de íons H⁺ sobre as células; ou indiretos, quando afeta a disponibilidade de íons essenciais para o desenvolvimento da planta.

2.4.1 Solução nutritiva padrão para milho hidropônico

Segundo Neves (2009), a formulação da solução nutritiva para cultivo do milho hidropônico, a ser colhido com 30 dias após a germinação é: nitrato de cálcio (410 g); nitrato de potássio (360 g); sulfato de magnésio (150 g); monoamôniofosfato (90 g); Fe-EDTA (35 g); e solução concentrada de micronutrientes (20 mL), sendo esses fertilizantes dissolvidos em 1000 litros de

água. Para preparo de 5 litros de solução de micronutrientes são necessários: 22g de Bórax; 4,5g de Sulfato de Manganês; 9,5g de sulfato de zinco; 4,0g de sulfato de cobre e; 1,5g de molibdato de sódio.

2.4.2 Água residuária como solução nutritiva

Na hidroponia, as soluções nutritivas provenientes de fertilizantes químicos industriais, de custo elevado, determinam a exclusão da utilização da técnica por parte dos produtores, principalmente dos que utilizam sistemas que visam o desenvolvimento agrícola sustentável (Nicola, 2002)

O uso agrícola de águas residuárias não visa apenas a sua eliminação, mas também ao seu aproveitamento como fonte nutricional para as plantas. Segundo Pereira (2006), a utilização de águas residuárias não é um conceito novo e tem sido praticado em todo o mundo há tempos e ganhou importância com a redução da disponibilidade de recursos hídricos de boa qualidade. Para a agricultura, o uso dessas águas é uma alternativa importante, pois permite o aproveitamento potencial das águas e dos nutrientes para o crescimento das plantas.

Os efluentes orgânicos oriundos de sistemas de produção leiteira confinada, quando lançados num corpo hídrico receptor, provocam alterações físicas e químicas nos mananciais. As principais fontes de contaminação têm sido as concentrações elevadas de nitrato, coliformes e amônia e também a presença de nutrientes (nitrogênio e fósforo), causando a morte de peixes e a eutrofização dos corpos aquáticos, diminuindo o nível de oxigênio dissolvido na água (Von Sperling, 1998).

A quantidade total de efluentes orgânicos produzidos por confinamentos de vacas leiteiras varia de 9,0% a 12,0% do peso vivo do rebanho por dia e depende também do volume de água utilizado na limpeza e desinfecção das instalações e equipamentos da unidade de produção (Campos et al., 1997).

A eficiência na produção de diferentes culturas por meio da utilização de águas residuárias é citada por vários autores. Oron et al. (1991), cultivando algodão, trigo, milho e ervilha observaram que os sistemas de micro-irrigação com águas residuárias apresentaram maior rendimento das culturas quando os emissores se encontraram dispostos na superfície do solo, em comparação com a

sub-superfície. Verificaram ainda, que a irrigação do algodão por gotejamento com águas residuárias possibilitou produtividade de 6.000 kg ha⁻¹, sem adição de fertilizante químico. Vasquez-Montiel et al. (1996) constataram que a cultura do milho, irrigada com águas residuárias, absorveu maior quantidade de nitrogênio na fase de crescimento do que na fase de maturação, acumulando, nessa fase, nitrogênio na forma de nitrato no perfil do solo.

Medeiros (2006) obteve em seu trabalho produção de forragem hidropônica de trigo à partir de solução orgânica de vermicomposto bovino, corrigida proveniente, apresentando vantagens nutricionais. A maior qualidade nutricional constatada na forragem foi o adequado nível de fibra em detergente neutro (FDN) e teores de 33,55% de proteína bruta (PB) na MS, colhida aos 15 dias.

2.4.3 Água residuária de bovino

Não são muitos os trabalhos científicos voltados para a orientação aos produtores de leite, principalmente aos que lançam no ambiente toneladas de material orgânico indiscriminadamente, sem orientação técnica.

Esse resíduo é muito valioso, pois possui grande potencial nutricional para a agricultura, mas ao mesmo tempo é muito poluidor podendo causar danos irreversíveis tanto ao solo, pelo acúmulo de nutrientes com riscos de sua salinização, pela lixiviação ou percolação de diversos elementos químicos para os cursos de água e águas subterrâneas, e pela carga microbiana composta de microrganismos, em alguns casos, patogênicos. Naturalmente é necessário equalizar seu retorno à agricultura como é regra em todo sistema sustentável (Matos, 2005).

Apesar do Brasil não dispor, no momento, de uma legislação específica sobre reuso de águas residuárias de bovinos, existem na legislação brasileira fundamentos jurídicos que apóiam indiretamente e legitimam a prática do reuso.

A Constituição Federal (1988), a Política Nacional de Recursos Hídricos (1997) e também as Resoluções do CONAMA (2005), fixam fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos capazes de indicar e orientar as políticas públicas de gerenciamento dos resíduos orgânicos (Matos, 2005).

2.5 Legislação pertinente

Quando se pretende utilizar resíduos orgânicos na adubação de lavouras deve-se obedecer as normas legais existentes.

A avaliação de impacto ambiental (AIA) surgiu na década de 60 nos EUA, e o Brasil teve sua primeira Lei Federal relacionada à ambiência em 1981 (Lei nº 6.938), que estabeleceu a “Política Nacional do Meio Ambiente”. Essa lei procurou controlar o lançamento de poluentes (entre estes os resíduos orgânicos com potencial fertilizante) no meio ambiente, proibindo que o fizessem em níveis nocivos ou perigosos para os seres humanos e outras formas de vida.

Em 08 de janeiro de 1997, a Lei nº 9.433 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, apresentou as preocupações com o desenvolvimento sustentável, onde a água integra essas preocupações.

Os padrões de lançamento de efluentes e de qualidade dos corpos receptores, estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, tem como objetivo a preservação dos corpos d’água. No entanto, mesmo com a legislação vigente e com todos os esforços, a redução da qualidade das águas e a poluição de fontes de superfície e subterrâneas têm sido observadas. Os problemas mais graves decorrem de vários fatores, dentre eles o tratamento inadequado das águas residuárias (AGENDA 21).

A legislação ambiental brasileira estabelece critérios para deposição de efluentes em cursos d’água naturais e prevê punições aos infratores.

Segundo Abreu Junior (2005), a legislação federal sobre inspeção e fiscalização da produção e comércio de fertilizantes, regulamentada pelo Decreto 4.954/2004 traz as seguintes definições: a) Fertilizante: são as substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, fornecedoras de um ou mais nutrientes de plantas; b) Fertilizante orgânico: é produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais; c) Fertilizante orgânico simples: é o produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas; d) Fertilizante orgânico misto: é o produto de natureza orgânica, resultante da mistura de dois ou mais fertilizantes orgânicos simples, contendo um ou mais nutrientes de plantas; e) Fertilizante

orgânico composto: é o produto obtido por processo, físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas; g) Fertilizante organomineral: é o produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos.

Qualquer resíduo obtido a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais, quando processado, pode ser registrado como fertilizante (Abreu Junior, 2005).

Segundo Glória (1992), a análise de caracterização de um resíduo orgânico, tendo por objetivo a verificação da potencialidade de seu uso agrícola, deverá inicialmente considerar os seguintes aspectos: matéria-prima empregada e suas características (quantidade, tipo e origem); produtos acrescentados ao processo (quantidade, tipo e etapa); regime de produção (contínuo, intermitente ou sazonal); tipo e quantidade do resíduo, (no caso de ser sólido), regime de vazão do efluente; se líquido (aspectos do resíduo) (estado físico e temperatura); e pré-tratamentos, assim como a acidez ou alcalinidade, a condutividade elétrica e a presença de odores, patógenos e compostos inorgânicos e orgânicos tóxicos. Com relação aos fertilizantes orgânicos líquidos, a Resolução nº 357 do CONAMA de 2005, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

2.5.1 Principais indicadores da qualidade de água residuária

Mede-se o nível de contaminantes das águas através de características físicas, químicas e biológicas das impurezas existentes, que são identificadas como parâmetros de qualidade das águas, definindo os limites de concentração a que cada substância presente na água deve obedecer. As características físicas são analisadas sob o ponto de vista de sólidos (suspensos, coloidais e dissolvidos na água) e gases. As características químicas se baseiam nos aspectos de substâncias orgânicas e inorgânicas. As características biológicas são avaliadas

sob o ponto de vista da vida animal, vegetal e organismos unicelulares (CETESB, 2005).

2.5.1.1 pH

Conforme Patemiani e Pinto (2001), o potencial hidrogeniônico (pH) é medida importante na análise de água para irrigação por estar intimamente relacionado com a concentração de outras substâncias presentes na água. Assim, por exemplo, uma água que apresenta pH acima de 8,3 contém altas concentrações de sódio, carbonatos e bicarbonatos, podendo tornar-se inadequada para irrigação.

As águas de irrigação com pH inferior a 7,0 tornam-se corrosivas, enquanto valores de pH acima de 7,0 favorecem a incrustação de materiais nas tubulações e equipamentos de irrigação.

Os valores de pH da água de irrigação estão normalmente entre 6,5 e 8,4. Valores fora desses limites indicam que pode haver problemas na qualidade da água, recomendando-se uma análise mais detalhada dos parâmetros que definem sua qualidade.

De acordo com a CETESB (2005), a influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Também há o efeito indireto muito importante, podendo determinadas condições de pH contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos, como os metais pesados.

2.5.1.2 Temperatura

A temperatura é a medida da quantidade de calor de um sistema. Por meio da absorção e espalhamento da luz solar na água, a energia dessa radiação diminui, transformando-se em calor. Este processo é influenciado pela estrutura molecular da água, pela presença de partículas em suspensão e, especialmente, por compostos orgânicos dissolvidos. A temperatura atua em muitos equilíbrios físicos e químicos, sendo importante fator ecológico. Assim, as variações da

temperatura influenciam as concentrações de O_2 e CO_2 da água, o teor de carbonato e os valores de pH (Patemiani e Pinto, 2001).

2.5.1.3 Turbidez

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca, devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos, algas e bactérias, plâncton, etc. (CETESB, 2005).

A turbidez é um dos indicadores de controle de qualidade da água mais usados em sistemas de tratamento devido a sua determinação ser rápida e fácil, com resultados bastante confiáveis e precisos. A turbidez da água é normalmente reduzida por meio de sua filtração (Patemiani e Pinto, 2001).

2.5.1.4 Condutividade Elétrica

Para a medida da condutividade elétrica (CE) de uma solução é utilizado um condutímetro que fornece o resultado em $\mu\text{s/cm}$ à uma dada temperatura. A condutividade elétrica de uma solução é a capacidade em conduzir corrente elétrica, em função da concentração iônica, principalmente de cálcio, magnésio, potássio, sódio, carbonato, sulfato e cloreto. Dependendo das concentrações iônicas e da temperatura, o valor da CE indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água, e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes (Esteves, 1988).

A CE de uma solução é um fenômeno cumulativo, sendo resultado da somatória das condutividades dos diferentes íons (Conte e Leopoldo, 2001).

2.5.1.5 Nitrogênio total

O nitrogênio presente na água está quase todo combinado sob forma de proteína e uréia. As bactérias, no seu trabalho de oxidação biológica, transformam o nitrogênio primeiramente em amônia que pode ser oxidada através das

bactérias (nitrosomas) a nitrito que posteriormente são oxidados a nitrito pela ação das nitrobactérias. A concentração com que o nitrogênio aparece sob essas várias formas indica a idade da água servida e/ou sua estabilização em relação à demanda de oxigênio. Águas com predominância de nitrogênio orgânico e amoniacal caracterizam poluição por descarga de água servida recente. Já os nitratos indicam poluição remota, uma vez que os nitratos são o produto final de oxidação de nitrogênio (Malavolta, 1980; Macêdo, 2001). Por meio desta análise determina-se a quantidade de nitrogênio presente na amostra, tanto na forma de nitrogênio amoniacal quanto na forma de nitrogênio orgânico. O método Kjeldahl não inclui o nitrogênio proveniente de nitritos e nitratos.

2.5.1.5.1 Nitritos

A determinação do teor de nitritos de uma solução fornece a quantidade de nitrogênio que foi parcialmente oxidado. Os nitritos correspondem a um estado de oxidação que antecede aos nitratos, que por não serem estáveis, podem ser reduzidos, produzindo amônia, ou oxidados produzindo nitratos. O nitrito reage com a hemoglobina, que é responsável pelo transporte de oxigênio, transformando-a em metahemoglobina, a qual não transporta oxigênio, podendo causar asfixia. No caso de ingestão de nitratos estes se transformam em nitritos, que podem reagir com as amins produzindo nitrosaminas, que são compostos cancerígenos. Em mananciais d'água recomenda-se manter um teor de 1 mg L^{-1} de nitritos. (CETESB, 2005).

2.5.1.5.2 Nitratos

Os nitratos são produtos finais da oxidação dos compostos nitrogenados e, por serem nutrientes, podem ser utilizados pelas algas e plantas, determinando o crescimento excessivo desses organismos.

A presença de nitrogênio na forma de nitrato em excesso na água pode trazer problemas graves de saúde à população, como a metahemoglobinemia; doença que pode causar morte em crianças. Esta doença ocorre porque o nitrato se reduz a nitrito na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre. Por isso, o nitrato é padrão de potabilidade, sendo 10 mg L^{-1} o valor máximo

permitido. Deve-se evitar o lançamento de águas residuárias em um corpo receptor, pois estas podem, devido à sua concentração em nitrato, causar a eutrofização do corpo receptor. (Patemiani e Pinto, 2001).

2.5.1.6 Fósforo

A presença do fósforo na água pode se dar de diversas formas. As formas mais freqüentes em que se encontra o fósforo em soluções aquosas são o ortofosfato, polifosfatos e fosfato orgânico. A mais importante delas para o metabolismo biológico é o ortofosfato. Sua presença nas águas pode ter origem na dissolução de compostos do solo (escala muito pequena), despejos domésticos e/ou industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes.

No controle da poluição pelo fósforo, a principal preocupação é a super fertilização das águas superficiais, resultando em crescimento nocivo de algas e plantas aquáticas (eutrofização). Por outro lado, o fósforo é um nutriente fundamental para o crescimento e multiplicação das bactérias responsáveis pelos mecanismos bioquímicos de estabilização da matéria orgânica (CETESB, 2005).

A utilização crescente de detergentes de uso doméstico e industrial favorece o aumento das concentrações de fósforo nas águas (CETESB, 2005).

2.5.1.7 Ferro total

Segundo Esteves (1988), o ferro é um elemento considerado micronutriente e necessário para o metabolismo animal, no entanto em concentrações elevadas pode se tornar tóxico. A presença do ferro em águas superficiais é atribuída, principalmente, à decomposição de rochas ricas em ferro. Sendo um elemento abundante na superfície terrestre, é normalmente encontrado nos corpos d'água, para onde é transportado, principalmente pelas chuvas ou por meio da lixiviação do elemento no solo.

2.5.1.8 Demanda química de oxigênio (DQO)

É a quantidade de oxigênio necessário para oxidação da matéria orgânica por meio de um agente químico em meio ácido (dicromato de potássio ou

permanganato de potássio). Os valores de DQO normalmente são maiores que os da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sendo o teste realizado num prazo menor, servindo os resultados de orientação para o teste da DBO. A DQO é um parâmetro indispensável e bastante eficiente nos estudos e no controle de sistemas de tratamento anaeróbios de esgotos sanitários e de efluentes industriais. Recomenda-se utilizar tal parâmetro conjuntamente com a DBO para observar a biodegradabilidade de despejos. Como a DBO mede apenas a fração biodegradável, quanto mais esse valor se aproxima da DQO significa que mais facilmente biodegradável será o efluente (Esteves, 1988).

Um valor alto de DQO, medida em mg L^{-1} , indica uma grande concentração de matéria orgânica e baixo teor de oxigênio. De acordo com a CETESB (2005), o aumento da DQO num corpo d'água se deve principalmente a despejos de origem industrial. .

2.5.1.9 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A DBO se refere à quantidade de matéria orgânica presente no corpo d'água. A matéria orgânica é formada por inúmeros componentes, como proteínas, carboidratos, uréia, surfactantes (detergentes), gordura, óleos, fenóis, pesticidas, etc. Estes compostos apresentam-se em suspensão ou dissolvidos, podendo ser biodegradáveis ou não. Dada a diversidade dos compostos e formas como se apresentam no corpo d'água, procura-se quantificá-la, indiretamente, medindo-se sua capacidade de consumo de oxigênio dissolvido na água, que se dá por meio das bactérias oxidantes. A DBO padrão está associada à porção biodegradável da matéria orgânica de origem vegetal e animal e também àquela presente nos despejos domésticos industriais. Esgotos domésticos possuem valor de DBO em torno de 300 mg L^{-1} , que representa o consumo de 300 mg de oxigênio em 5 dias à 20° C . Um valor de DBO alto significa presença de poluição por meio da matéria orgânica proveniente de fontes pontuais e/ou difusas de origem doméstica ou industrial (Braile e Cavalcanti, 1993).

2.6 Avaliação químico-bromatológica da forragem

O valor nutritivo da forrageira é um fator que depende da espécie, do estágio de crescimento, das condições do meio (incluindo o clima e o solo) e da parte da planta analisada. As plantas jovens têm maior quantidade de nutrientes e água nos seus tecidos, com menor produção se for comparado com as plantas mais velhas. Com o crescimento e desenvolvimento do vegetal, há o aumento do teor de fibra, diminuição do teor de proteína, de minerais e da digestibilidade. As folhas são a parte mais nobre das forrageiras pelo seu maior valor nutritivo e este último depende do clima e dos nutrientes fornecidos que respondem pela composição das forrageiras (Andriquetto, 2005). O estágio de maturidade da planta forrageira no momento da colheita influencia no seu valor nutricional mais que qualquer outro fator, pois à medida que a planta cresce e se desenvolve, a quantidade de porções fibrosas produzidas aumentam, enquanto, o teor protéico e a digestibilidade da fitomassa seca diminuem (Van Soest, 1994).

A avaliação química da forragem é útil no fornecimento de informações para se proceder o ajuste da quantidade de nutrientes, correspondentes às exigências nutricionais dos animais. Nos sistemas de avaliação de alimentos, buscam-se métodos para estimar a disponibilidade protéica e energética dos alimentos (Sniffen et al., 1992).

A fibra desempenha importante função no controle do consumo voluntário e, conseqüentemente, na ingestão de nutrientes, além de estimular um ambiente ruminal favorável ao desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela digestão de carboidratos fibrosos (Nussio et al., 2006). Há cerca de 30 anos, os nutricionistas passaram a analisar a fibra não mais pelo método da fibra bruta (FB), que consiste de celulose com poucas quantidades de lignina e hemicelulose, passando à determinação da fibra em detergente ácido (FDA) e fibra em detergente neutro (FDN) para expressar a qualidade dessa por meio da concentração dos constituintes da fração fibrosa, importante no balanceamento de rações para ruminantes (Lima, 2003).

De acordo com Van Soest (1994), a parede celular é composta por carboidratos estruturais de baixa solubilidade (celulose, hemicelulose e lignina) além de sílica e cutina, os quais correspondem à fração fibra bruta (FB) da forragem, cuja digestão ocorre na sua totalidade por meio da ação enzimática dos

microrganismos do trato gastrointestinal. Já o conteúdo celular é composto por amido e carboidratos solúveis, proteína bruta, lipídios, vitaminas e minerais, correspondendo à fração solúvel ou parcialmente solúvel e de alta digestibilidade da célula da planta, os quais são digeridos tanto por enzimas dos microrganismos como por aquelas secretadas pelo aparelho digestivo dos animais. A parede celular pode ser separada em fibra detergente neutro (FDN), que determina a sua concentração na planta e expressa a fibra digestível (celulose e hemicelulose), e fibra detergente ácido (FDA) que determina a qualidade da parede celular e expressa a fração indigestível (lignina, sílica e cutina). Estes dois componentes, FDN e FDA, determinam respectivamente o potencial de consumo e digestibilidade da matéria seca da planta e, por sua vez, o valor nutritivo da forragem quando associados com o teor de proteína, minerais, vitaminas e concentração energética.

Baixas concentrações de proteína bruta (PB) na matéria seca (MS) restringem o consumo voluntário e a digestão devido aos inadequados níveis de nitrogênio para os microrganismos do rúmem, diminuindo sua população. Portanto, teores mais elevados de PB nas forragens são necessários para o atendimento dessas exigências (Van Soest, 1994).

Estima-se que o nível crítico de PB na pastagem está entre 6,0 e 8,5% na matéria seca (Minson, 1990).

Alimentos volumosos comumente utilizados na alimentação de ruminantes apresentam os seguintes teores médios de PB na MS: pastagem nativa 7,3%; silagem de milho 8,0% e silagem de sorgo 5,5% (Soares, 2002).

Na produção de forragem hidropônica de milho sobre substrato de capim-elefante, Balieiro et al. (2000) e Pereira et al. (2003) obtiveram teores de 11,7 e 13,1% PB na MS, colhida aos 16 e 22 dias, respectivamente.

O fracionamento dos componentes da fração fibrosa permite uma avaliação mais criteriosa da qualidade das forrageiras. Assim, por meio do detergente neutro, é possível separar o conteúdo celular (parte da forragem solúvel em detergente neutro), constituído principalmente de proteínas, gorduras, carboidratos solúveis, pectina e outros componentes solúveis em água, da parede celular (parte da forragem insolúvel em detergente neutro), também chamada de fibra em detergente neutro (FDN), que é constituída basicamente de celulose, hemiceluloses, lignina e proteína lignificada. Em seguida, a FDN é submetida à

ação do detergente ácido, separando as hemiceluloses (solúvel em detergente ácido) da lignocelulose e proteína lignificada (Silva e Queiroz, 2004).

Amorim et al. (2005), analisando os teores de hemicelulose e celulose na forragem hidropônica de milho produzida sobre três substratos, obtiveram, respectivamente, para o bagaço de cana-de-açúcar hidrolisado 32,1 e 31,3% na MS; 29,4 e 31,4% na MS para a grama e 28,6 e 31,6% na MS para a cama de frango. Os ruminantes são melhores conversores em energia digestível dos principais constituintes da FDN, celulose e hemicelulose, sendo a maior parte da celulose digerida no rúmen, enquanto considerável porção da hemicelulose é fermentada nos intestinos.

A fibra representa a fração dos carboidratos dos alimentos que apresenta digestão lenta ou indigestível e, dependendo de sua concentração e digestibilidade, impõe limitações sobre o consumo de matéria seca e energia. A fibra afeta características dos alimentos que são importantes na nutrição animal, como a relação da digestibilidade com seus valores energéticos, a fermentação ruminal, podendo também estar envolvida no controle da ingestão de alimentos (Mertens, 1992)

A fibra em detergente neutro (FDN) é considerada a melhor representação da fração do alimento de lenta digestão ou indigestível e que ocupa espaço no trato digestivo, sendo o seu teor normalmente utilizado para cálculo do consumo de forragens (Mertens, 1996). A parte solúvel da FDN é constituída de pectina, açúcares simples, amido, lipídeos e parte de compostos nitrogenados e minerais, enquanto que a insolúvel engloba a celulose, a hemicelulose, a lignina e parte dos compostos nitrogenados e minerais associados a estes polímeros (Van Soest, 1994).

No estudo do valor nutricional da forragem, a classificação dos carboidratos em fibrosos (CF) e não-fibrosos (CNF) é baseada em características nutritivas, e não em função exercida na planta ou composição química (Mertens, 1996). Desta forma, os CNF representam as frações degradadas mais rapidamente, incluindo a pectina, amido e açúcares. Por sua vez, os CF ocupam espaço no trato digestivo e exigem mastigação para redução das partículas e passagem através do trato digestivo, sendo constituídos basicamente por celulose, hemicelulose e lignina.

De acordo com Van Soest (1994), a lignina é considerada indigerível e inibidora da digestibilidade das plantas forrageiras e seu teor aumenta com a maturidade fisiológica das plantas. A estimação da concentração de lignina na parede celular de plantas forrageiras torna-se essencial no estabelecimento do valor nutritivo destas.

Na composição química a fibra é um carboidrato essencial, mas devido a sua insolubilidade ela é utilizada apenas parcialmente como um nutriente alimentar pelos animais (Maynard et al., 1984).

O teor de fibra tem sido utilizado como um índice negativo de qualidade da forragem, uma vez que representa a fração menos digerível dos alimentos. A fração fibrosa dilui a energia do alimento e reduz o consumo voluntário, pelo efeito do enchimento do rúmem e pela saturação da capacidade de ruminação do animal. Por outro lado, a fibra é requerida para funcionamento e metabolismo normal do rúmem e por isso a qualidade da fibra torna-se um fator muito importante na dieta de ruminantes (Bianchini et al., 2007).

A digestibilidade é a medida da proporção do alimento consumido que é digerido e metabolizado pelo animal. A princípio, a digestibilidade potencial de todos os componentes da planta, exceto a lignina, é de 100%. Contudo, a digestão completa nunca acontece, devido às incrustações de hemicelulose e celulose pela lignina, que tem efeito protetor contra a ação dos microrganismos do rúmen (Weiss, 1994).

A digestibilidade pode ser determinada por métodos *in vivo*, *in situ* e *in vitro*. O método *in vitro*, em razão dos custos mais reduzidos, rapidez, e boa correlação com o método *in vivo*, tem sido bastante utilizado para a avaliação inicial de forragens (Perez, 1997).

A técnica da digestão *in vitro* tem sido largamente utilizada na análise dos mais variados tipos de alimentos fornecidos aos ruminantes. Esse fato se observa em razão da prática na determinação dos resultados, uma vez que grande parte do processo é desenvolvida em laboratório. Essa técnica procura simular as condições naturais da digestão. Portanto, torna-se imprescindível que cada etapa da operação seja representativa, o mais fiel possível, do processo digestivo para que os resultados sejam confiáveis (Holden, 1999).

Segundo Minson (1990), as gramíneas de clima tropical são, em média, 13% menos digestíveis que as espécies de clima temperado. Enquanto a maioria

dos capins de clima temperado tem digestibilidade superior a 65%, poucas espécies tropicais atingem este patamar. A digestibilidade das espécies tropicais diminui de forma contínua com o avançar do desenvolvimento. As forrageiras que conservam a digestibilidade em patamares maiores por maior espaço de tempo, são mais interessantes para a produção animal.

Portanto, o conhecimento do potencial nutritivo, além da composição nutricional e digestibilidade in vitro, da forragem verde hidropônica de milho se faz necessária para que sua utilização suplementar possa ser considerada uma opção interessante no incremento da produtividade dos rebanhos.

3 TRABALHOS

3.1 Produção de forragem verde hidropônica de milho utilizando substratos orgânicos e água residuária de bovino

(Preparado de acordo com as normas da Revista Ceres)

RESUMO

Avaliou-se a produtividade da forragem verde hidropônica de milho (FVHM) produzida em diferentes substratos orgânicos, aplicando soluções nutritivas preparadas com diferentes concentrações de nitrogênio na água residuária de bovino (ARB). O delineamento estatístico foi o de blocos casualizados num esquema fatorial (4 x 5) + 4 tratamentos adicionais, com 3 repetições. As soluções nutritivas utilizadas foram: testemunha padrão para hidroponia de milho (SNP) e ARB com 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de nitrogênio da SNP, com volume de aplicação de 4 L m⁻². Os substratos utilizados foram bagaço de cana-de-açúcar (BC), casca de café (CC), capim elefante cv napier (CN) e sem substrato (SS). A densidade de semeio foi de 2,5 kg m⁻² de sementes de milho pré-

germinadas. A colheita foi realizada 15 dias após a instalação do experimento. Avaliou-se a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da base (MSBA), (composta por raízes+sementes não germinadas+substrato orgânico) e matéria seca da planta toda (MSPT). A ARB pode ser utilizada em substituição à SNP, não havendo necessidade de seu enriquecimento com nitrogênio. Houve efeito significativo entre os substratos utilizados na produção de matéria seca da forragem, com destaque para os substratos CN e BC, que promoveram um incremento na produção de MSPA de, respectivamente, 85,6% e 66,6%, em relação ao SS, e de 86,6% e 69,8%, em relação ao CC.

Palavras-chave: hidroponia de milho, reuso da água, resíduos orgânicos.

ABSTRACT

Production of hydroponic forage of maize using organic substrates and bovine wastewater

We evaluated the productivity of hydroponic forage maize (FVHM) produced in different organic substrates, using nutrient solutions prepared with different concentrations of nitrogen in wastewater and veal (ARB). The statistical design was a randomized block design in a factorial (4 x 5) + 4 additional treatments, with 3 repetitions. The nutrient solutions used were: control pattern for hydroponics corn (SNP) and ARB with 0%, 25%, 50%, 75% and 100% nitrogen SNP, with application volume of 4 l m⁻². The substrates were crushed cane sugar (BC), coffee husk (CC), elephant grass cv napier (CN) and without substrate (SS). The seeding density was 2.5 kg m⁻² maize seed pre-germinated. Plants were harvested 15 days after the experiment. We evaluated the production of dry matter (MSPA), dry matter basis (MSBA), (composed of roots + ungerminated seeds + organic substrate) and dry matter of the whole plant (MSPT). The ARB can be used to

replace the SNP, with no need for enrichment with nitrogen. Significant effects between the substrates used in the production of forage dry matter, especially for substrates CN and BC, which promoted an increase in the production of MSPA, respectively, 85.6% and 66.6%, compared to SS and from 86.6% and 69.8% compared to the CC.

Key words: hydroponic fodder, wastewater, organic substrates

INTRODUÇÃO

Mesmo com os esforços no aprimoramento de tecnologias, juntamente com volume de recursos investidos, a pecuária brasileira ainda apresenta índices zootécnicos de produtividade relativamente baixos. Entre os diversos fatores envolvidos, a sazonalidade, a qualidade e a quantidade de forragem produzida continuam sendo gargalos para que os produtores, principalmente os pequenos e médios, alcancem índices de produtividade satisfatórios.

Produzir alimentos volumosos para ruminantes é um desafio. Reunir o maior número de atributos desejáveis a uma forragem, buscando atender as necessidades de diversas categorias animais nas diferentes espécies, sob diferentes sistemas de produção, que não apresente os efeitos da sazonalidade na sua produção, que possa ser produzida em qualquer região e com baixo custo, que seja acessível aos produtores rurais, desde os menos tecnificados até os mais assistidos tecnologicamente e que ainda ofereça uma contribuição no sentido de diminuir o impacto ambiental, fruto dos modernos sistemas intensivos de exploração, é um desafio ainda maior.

A busca de alternativas de produção de forragem não tem como finalidade substituir os métodos tradicionais de produção, mas visa oferecer opções ao produtor, principalmente nos períodos de escassez na oferta de forragem. Surge então o conceito de forragem hidropônica, que é uma tecnologia de produção que se destaca por apresentar vantagens como: ciclo curto; produção contínua fora de época com menor risco de

adversidades meteorológicas; aplica-se em qualquer estação do ano; adapta-se a várias espécies vegetais; requer baixo consumo de água; produtividade elevada; dispensa o uso de agrotóxico e de investimentos em maquinário para ensilagem, fenação ou armazenamento (Pate, 2005).

A forragem hidropônica resulta de um processo de germinação de sementes de cereais (milho, cevada, sorgo, entre outras), desenvolvido em um período de 10 a 15 dias, captando energia do sol e absorvendo os nutrientes contidos em uma solução nutritiva. A forragem produzida pode ser administrada aos rebanhos em sua totalidade (sementes, folhas, caules e raiz), e quando da utilização de substratos orgânicos, estes também poderão ser incorporados na dieta, desde que não sejam depressores do consumo e da digestibilidade de alguns nutrientes. A forragem hidropônica apresenta características de aspecto, sabor, cor e textura que lhe conferem grande palatabilidade, o que favorece o aumento da ingestão de outros alimentos (Campêlo, 2007).

Experimentos realizados com cordeiros desmamados alimentados com forragem hidropônica de aveia, demonstraram um ganho médio diário de peso dos animais de 0,240 kg e conversão alimentar de 4,68. Em vacas sob regime de produção de leite à pasto, o uso suplementar de forragem hidropônica permitiu incremento de 18% na produção leiteira (FAO, 2006). Em trabalho conduzido por Espinoza et al. (2004), foram observados maiores ganhos de peso diário ($1,107 \text{ kg animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) em bovinos que receberam uma dieta composta de 70% de pastagem e 30% de forragem hidropônica de milho, em relação ao animais alimentados somente com pastagem, onde o ganho diário de peso foi de apenas $0,696 \text{ kg animal}^{-1}$.

Os substratos utilizados em hidroponia tem por objetivo principal a fixação mecânica das plantas, mas também precisam apresentar algumas características importantes, tais como: baixo custo, disponibilidade na propriedade, pH entre 5,6 e 7,0, baixa concentração de sais, possuir volume estável e capacidade de armazenamento de

água em seus microporos e ar nos macroporos, provendo as raízes de oxigênio, necessário à respiração celular. Cada substrato possui características próprias que devem ser conhecidas, avaliando-se em cada caso sua adequação ao sistema e a cultura que se quer produzir (Martinez & Silva Filho, 2006).

A solução nutritiva é um dos componentes mais importante de todo processo hidropônico. Não existe uma solução nutritiva que seja única para todas as espécies vegetais, uma vez que mesmo que todas as plantas necessitem dos mesmos nutrientes, estes são exigidos em concentrações diferentes por cada espécie. A solução nutritiva pode variar dentro de limites toleráveis de pH, pressão osmótica e composição. Entretanto, a solução nutritiva apropriada deve conter, no mínimo, todos os nutrientes, em quantidades equilibradas de acordo com as necessidades da cultura (Resh, 1997).

O cultivo hidropônico é uma técnica muito difundida em diversos países. Sua aplicabilidade à produção de alimentos se alia à possibilidade de minimização de diversos problemas ambientais, como diminuição do consumo de água nos cultivos agrícolas, diminuição da contaminação dos corpos d'água receptores dos dejetos lançados pelas explorações zootécnicas, além da possibilidade de otimização no manejo dos níveis de nutrientes necessários para produção agrícola (FAO 2006).

A escassez de água no planeta e o aumento da poluição preocupam as populações. A utilização de águas residuárias, que não é um conceito novo (Osburn & Burkhead, 1992; Soares *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2010) há tempos tem ganhado importância com a redução da disponibilidade de recursos hídricos de boa qualidade. Para a agricultura, o uso dessas águas é uma alternativa importante, pois permite o aproveitamento potencial das águas e dos nutrientes nelas contidos para o crescimento de plantas.

Na atividade leiteira, onde os animais são mantidos em confinamento (*free stall* e *tie stall*), em média cada animal produz 48 kg de esterco sólido, que somado à urina e a água utilizada nas lavagens de equipamento e instalações, pode-se chegar há um volume de

100 L de água cabeça⁻¹ dia⁻¹, gerando dessa forma grande volume de água residuária, que é fonte de poluição ambiental (Wolters & Boerekamp, 1994), em razão de sua alta carga orgânica, associada a teores elevados de nitrogênio, fósforo, cobre, sódio entre outros nutrientes, constituindo-se num risco de desequilíbrio ecológico, quando lançados de forma inadequada no meio ambiente. As águas residuárias apresentam, dessa forma, potencial para serem utilizadas na fertirrigação das culturas agrícolas, sendo que dois terços do nitrogênio, um terço do fósforo e 100% do potássio, encontram-se nessas águas na forma mineral, ou seja, numa forma absorvível pelas plantas (FAO, 2006).

Pesquisas desta natureza são importantes em razão da falta de dados sobre a possibilidade do uso de águas residuárias de bovino na produção de forrageiras em cultivo hidropônico, e da necessidade de disponibilizar para os produtores alternativas de baixo custo para destinação destas águas, além da necessidade de obtenção de forragens de qualidade, principalmente para os períodos de escassez, utilizando para tal resíduos agrícolas com alto potencial de aproveitamento.

Este estudo teve como objetivo avaliar a produtividade de forragem verde hidropônica de milho (FVHM) produzida em diferentes substratos orgânicos, aplicando soluções nutritivas preparadas com diferentes concentrações de nitrogênio na água residuária de bovino (ARB).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Instituto Federal do Espírito Santo – Campus de Alegre, setor de bovinocultura, situado no Município de Alegre, sul do Estado do Espírito Santo, entre as coordenadas geográficas de 20°44'05" a 20°45'51" de latitude Sul e 41°25'50" a 41°29'44" de longitude Oeste.

O experimento seguiu a um arranjo fatorial $(4 \times 5) + 4$, cujos fatores e níveis foram: quatro substratos orgânicos [bagaço de cana de açúcar (*Saccharum* sp.) - (BC); casca de café conilon (*Coffea canephora*) - (CC); capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum cv Napier) - (CN) e; sem substrato - (SS)], cinco soluções de água residuária de bovino - ARB [ARB acrescida de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% do N da solução nutritiva padrão (SNP) utilizada para produção de milho hidropônico] mais quatro tratamentos adicionais com SNP para milho em cada substrato orgânico. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com três repetições.

A unidade experimental foi composta por bandejas de polietileno com dimensões de 22 x 22 x 4 cm (C x L x A). Os substratos foram dispostos nas unidades experimentais em camadas de 2 cm recebendo semeadura manual das sementes de milho pré-germinadas, com densidade de semeio de 2,5 kg de sementes m^{-2} , sendo imediatamente cobertas por outra camada de 2 cm de substrato. Nos tratamentos sem substrato as sementes foram colocadas no fundo das bandejas sendo distribuídas de forma aleatória.

Anteriormente à semeadura, as sementes de milho “BR 206 – Embrapa” foram submetidas a condicionamento osmótico induzindo a pré-germinação. Tal procedimento constituiu da imersão das sementes em água por 24 horas, com posterior drenagem e período de repouso de 24 h, como preconizado por Roversi (2004).

O bagaço de cana de açúcar (BC) foi obtido após prensagem da cana como etapa preliminar da produção de cachaça artesanal, sendo após seco ao ar e posteriormente picado em ensiladeira (tamanho médio de partícula de 2 cm). A casca de café conilon (CC) foi obtida a partir do beneficiamento do café em coco, por via seca (fruto do café seco ao sol ou em pré-secadores artificiais), resultando em resíduo formado por casca e pergaminho, acumulado nas propriedades rurais da região. O capim-elefante (CN) foi obtido de área que não sofreu manejo de corte adequado, encontrando-se as plantas com mais de 150 dias de idade, em estádio de maturação fisiológica avançado. As plantas foram

cortadas manualmente a 10 cm do solo e picadas em ensiladeira (tamanho médio de partícula de 2 cm). Antes da instalação do experimento, os substratos foram secos em estufa com ventilação forçada a 65°C até peso constante, com retirada de amostra para análise química, cujo resultado está apresentado na Tabela 1. A análise químico-bromatológica dos substratos seguiu os protocolos analíticos contidos em Tilley e Terry (1963), EMBRAPA (2006), Ankom (2006) e Silva & Queiroz (2009).

Tabela 1. Caracterização químico-bromatológica dos substratos

| Substrato | pH | CE (dS/m) | N-total | C | C/N | DIVMS | PB | FDA | FDN | LIG |
|-----------|-----------------|-----------|-------------|----|-----|-------------|------|------|------|------|
| | --- água 1:5--- | | -----%----- | | | -----%----- | | | | |
| BC | 4,1 | 0,25 | 0,4 | 44 | 110 | 34,39 | 2,3 | 56,8 | 82,1 | 10,5 |
| CC | 6,0 | 4,0 | 1,8 | 45 | 25 | 19,96 | 10,3 | 55,9 | 67,4 | 26,8 |
| CN | 5,2 | 2,5 | 0,8 | 43 | 54 | 33,46 | 5,8 | 53,3 | 75,5 | 12,2 |

| | K | N amônio | N nitrato | Fe | Cu | Zn | Mn | Ca | Mg |
|----|--------------------------------|----------|-----------|-----|----|----|----|------|-----|
| | -----mg kg ⁻¹ ----- | | | | | | | | |
| BC | 8812 | 253 | 270 | 160 | 8 | 30 | 13 | 3750 | 165 |
| CC | 7875 | 1510 | 75 | 155 | 13 | 34 | 13 | 10 | 57 |
| CN | 6750 | 2015 | 200 | 166 | 11 | 45 | 14 | 3560 | 562 |

pH= potencial hidrogeniônico; CE= condutividade elétrica; N-total= nitrogênio total; C= carbono; C/N= relação carbono/nitrogênio; DIVMS= digestibilidade in vitro na matéria seca; PB=proteína bruta; FDA= fibra em detergente ácido; FDN= fibra em detergente neutro; LIG=lignina; BC = bagaço de cana-de-açúcar; CC = casca de café ; CN = capim Napier.

Posteriormente, os substratos receberam volume igual de água tratada da rede urbana para reidratação até atingirem capacidade de recipiente, que é, segundo Fermino (2003), a máxima capacidade de retenção de água de um substrato em um determinado recipiente, sob as mesmas condições de saturação e drenagem. O excesso de água foi drenado por 12 h. Findo a drenagem, procedeu-se então a pesagem dos substratos, tomando-se como referência o volume ocupado por 4 cm nas bandejas experimentais. O peso inicial adicionado a cada unidade experimental, sem as sementes, para casca de café, bagaço de cana de açúcar e capim elefante foi de 4,34; 2,56 e 2,35 kg m⁻², respectivamente.

Antes do início do experimento, fez-se a instalação de uma estrutura para coleta e armazenamento do efluente oriundo do setor de bovinocultura. A estrutura era composta de duas caixas de polietileno com capacidade de 1000 L cada, dispostas em desnível. A primeira caixa visava a separação da parte sólida da líquida por decantação, e a segunda o armazenamento da parte líquida. O efluente coletado era constituído de dejetos de bovinos (fezes e urina), do descarte de leite proveniente do teste de mamite, da água de desinfecção de ordenhadeira mecânica, da água de limpeza das instalações, do derrame de bebedouros e dos restos de alimentação. Essa água coletada será aqui denominada de água residuária de bovinos (ARB). Uma amostra da ARB foi coletada e devidamente acondicionada em vidro esterilizado e enviada ao Laboratório de Qualidade da Água na Universidade Federal de Viçosa – UFV, para análise física e química (Tabela 2).

Para o armazenamento da ARB utilizada durante o período experimental, foram utilizados vasilhames de polietileno com capacidade para 50 L. A ARB foi acondicionada em vasilhames separados, de acordo com o percentual de N acrescido a mesma, totalizando cinco vasilhames com ARB mais um para acondicionamento da SNP. Como fonte de N utilizou-se a uréia p.a. (45% de N). A SNP (solução nutritiva padrão) para cultivo de milho hidropônico foi preparada seguindo as recomendações presentes em Neves (2009).

Tabela 2. Caracterização físico-química da água residuária de bovino (ARB) utilizada no experimento

| pH | CE μScm^{-1} | ST | SST | SDT | O&G | COfo | DQO | DBO | Ntotal |
|-----|----------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|--------|
| | | ----- mg L^{-1} ----- | | | | | | | |
| 6,5 | 1449,7 | 659 | 332 | 337 | 2 | 195 | 412 | 135 | 56,7 |

| Ca+Mg mmol L^{-1} | Dureza mg L^{-1} CaCO ₃ | Cl μS cm^{-1} | Na | Ptotal | K | N-NO ₃ | Fe | Deterg |
|-------------------------------|---|---|----|--------|------|--------------------------------|------|--------|
| | | | | | | ----- mg L^{-1} ----- | | |
| 2 | 100 | <1 | 15 | 7,1 | 20,5 | 0,064 | 1,69 | 0,131 |

pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica; ST= sólidos totais; SST= sólidos em suspensão totais; SDT= sólidos dissolvidos totais; O&G= óleos e graxas; COfo= carbono orgânico facilmente oxidável; DQO= demanda química de oxigênio; DBO= demanda bioquímica de oxigênio; Ntotal= nitrogênio total;

Ptotal= fósforo total; Ca+Mg= cálcio + magnésio; Cl= cloro livre; Na= sódio; K= potássio; N-NO₃= nitrogênio na forma de nitrato; Fe= ferro solúvel; Deterg.= detergentes (substâncias reativas ao azul de metileno).

O volume aplicado das diferentes soluções por unidade experimental foi de 4 L m⁻² dia⁻¹, divididos em três aplicações diárias. Nas aplicações utilizou-se borrifadores manuais. As bandejas se encontravam em nível, sobre estrados de arame galvanizado.

Durante todo período experimental, fez-se o monitoramento do pH, temperatura e condutividade elétrica das soluções nutritivas, utilizando pHmetro Lutron modelo 221 e condutímetro Tecnopon modelo μ CA-150, cujos valores são apresentados na Tabela 3. O pH das soluções foi corrigido para 5,5 – 6,5 (pH de referência citado por Neves, 2009) pela aplicação de H₂SO₄ 1Mol L⁻¹.

Tabela 3. Faixas de valores de pH, condutividade elétrica (CE) e temperatura das diferentes soluções nutritivas durante o período experimental

| Soluções | pH ³ medido | CE ⁴ μ S cm ⁻¹ | Temperatura °C |
|--------------------------------|------------------------|--|----------------|
| SNP ¹ | 5,7 – 6,1 | 1197 – 1223 | 26,8 |
| ARB ²⁺ 0% N da SNP | 6,8 – 7,5 | 1480 – 1693 | 29,0 |
| ARB ⁺ 25% N da SNP | 6,6 – 7,4 | 1452 – 2276 | 28,9 |
| ARB ⁺ 50% N da SNP | 6,6 – 7,8 | 1472 – 2332 | 28,9 |
| ARB ⁺ 75% N da SNP | 6,7 – 8,2 | 1472 – 2681 | 28,8 |
| ARB ⁺ 100% N da SNP | 6,6 – 8,3 | 1470 – 2970 | 28,5 |

¹SNP = Solução Nutritiva Padrão; ²ARB = Água Residuária de Bovino; ³Valor de referência 5,5 – 6,5
⁴Valor de referência 1200 - 2000 μ s cm

Toda forragem, de cada unidade experimental, foi colhida 15 dias após a semeadura, por meio da separação da parte aérea, da base das plantas de milho (base = raízes+substratos+sementes não germinadas). O material foi acondicionado em sacos de papel e submetido à secagem em estufa de ventilação forçada, a 65°C, até peso constante. Depois de seco, o material foi pesado em balança semianalítica, com precisão de um miligrama, obtendo-se assim a matéria seca das diferentes partes da forragem. Os

parâmetros avaliados foram a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca da base (MSBA), de acordo com metodologia descrita por Silva & Queiroz (2009). Após a obtenção dos dados de MSPA e MSBA, foi calculada a matéria seca da planta toda (MSPT = MSPA + MSBA).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando o aplicativo computacional SAEG (2009). As médias dos contrastes ortogonais foram testadas aplicando o teste F ($p < 0,01$ e $p < 0,05$), onde se verificou o efeito dos substratos, das soluções nutritivas, suas interações e dos tratamentos adicionais sobre os parâmetros avaliados.

Os contrastes ortogonais (C) utilizados para estudar o efeito dos substratos estão esquematizados na Tabela 4, onde $C_1 = 3SS-BC-CN$, compara a média dos tratamentos sem substrato vs as médias dos tratamentos com substrato; $C_2 = 2CC-BC-CN$, compara as médias dos tratamentos com casca de café em relação ao bagaço de cana e capim elefante e; $C_3 = BC-CN$, compara as médias dos tratamentos que receberam bagaço de cana vs capim elefante napier.

Tabela 4. Contrastes ortogonais utilizados para testar as diferenças entre as médias dos substratos na produção de MSPA; MSBA e MSPT

| Contrastes | Substratos | | | |
|------------|------------|----|----|----|
| | SS | CC | CN | BC |
| C_1 | 3 | -1 | -1 | -1 |
| C_2 | 0 | 2 | -1 | -1 |
| C_3 | 0 | 0 | 1 | -1 |

BC = bagaço de cana de açúcar ; CC = casca de café ; CN = capim napier ; SS = sem substrato

Para a comparação dos tratamentos adicionais, (SNP) com as concentrações de N (0%; 25%; 50%; 75%; 100% da SNP) na ARB, nos diferentes substratos, foram considerados os contrastes ortogonais de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5. Contrastes para testar o efeito das soluções nos diferentes substratos

| Substrato | Contrastes | Soluções | | | | | |
|-----------|------------|----------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| | | SNP | ARB _{0%} | ARB _{25%} | ARB _{50%} | ARB _{75%} | ARB _{100%} |
| BC | C1 | 5 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| CC | C2 | 5 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| CN | C3 | 5 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| SS | C4 | 5 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |

BC = bagaço de cana de açúcar ; CC = casca de café ; CN = capim napier ; SS = sem substrato; SNP = solução nutritiva padrão; ARB = água residuária de bovino (0; 25; 50; 75 e 100% de N da SNP).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ocorreu efeito significativo para o fator substratos ($p < 0,01$) sobre a produção de MSPA, MSBA e MSPT. Entretanto, não foi observado efeito significativo para o fator concentrações de N na ARB, nem para a interação entre concentrações de N na ARB x substratos, para os atributos avaliados. Para os tratamentos adicionais, onde se comparou o efeito das soluções [SNP x concentrações de N na ARB (0, 25, 50, 75 e 100% do N da SNP)], houve diferença significativa na produção de MSPA somente no substrato CN. Não houve diferença significativa entre as soluções para os diferentes substratos sobre a produção de MSBA e MSPT.

Na análise dos contrastes para verificar o efeito do fator substrato sobre a produção de MSPA (Figura 1), observa-se a superioridade da presença de substrato (BC, CC e CN) em relação ao tratamento SS, o que destaca a importância do substrato na germinação e crescimento das plantas de milho. Os substratos BC e CN apresentaram melhores resultados em relação à CC, não havendo diferença significativa entre os mesmos, indicando que esses substratos reúnem melhores características físico-químicas para a

produção da forragem verde hidropônica de milho (FVHM). De acordo com Martinez & Silva Filho (2006), dentre as características de um bom substrato a presença de microporos e macroporos é fundamental para o armazenamento de certa quantidade de água e ar, fundamentais ao bom desenvolvimento das plantas.

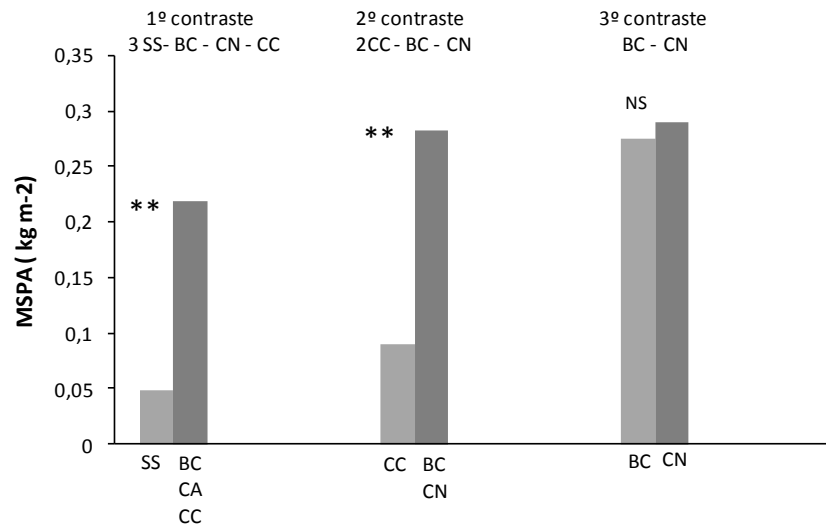


Figura 1. Efeito dos substratos sobre a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) (kg m^{-2}) ** $p < 0,01$ NS= não significativo para o teste de F

A ausência de resposta da produção de MSPA da FVHM à aplicação da ARB enriquecida com diferentes percentuais de N da solução nutritiva padrão, pode estar associada ao período de condução do experimento (apenas 15 dias). De acordo com Alves *et al.* (1999), a maior demanda de N pelo milho ocorre quando as plantas apresentam de seis a oito pares de folhas bem desenvolvidas, o que geralmente ocorre a partir da terceira semana após a emergência das plantas. Experimentos conduzidos por maior período de tempo, utilizando as mesmas concentrações de N na ARB do presente trabalho, podem encontrar diferenças significativas para a produção de MSPA da FVHM.

Considerando o potencial de produção de matéria seca das forragens tradicionalmente utilizadas na alimentação animal, Alves *et al.* (2001) obtiveram para a forragem Tifton 85 elevado potencial de produção ($24,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) de matéria seca quando adubada com $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N. Carneiro *et al.* (2001), avaliando diferentes

cultivares do gênero *Brachiaria* (marandú, xaraés e piatã), verificaram um potencial de produção médio de 15 t ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca. No presente trabalho, pode-se verificar na Tabela 6, que as médias de produção de MSPA da FVHM nos substratos BC e CN refletem um potencial de produção de 2,5 a 3,0 t ha⁻¹ de matéria seca a cada 15 dias, o que representa cerca de 60 a 72 t ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca. Esse potencial produtivo corresponde a uma produção de 2,9 e 4,8 maior em relação ao Tifton 85 e às forrageiras tradicionais da região (braquiárias), respectivamente.

A baixa produção de MSPA nos tratamentos contendo o substrato CC pode estar relacionada à presença de um alcalóide aleloquímico denominado xantina cafeína. Pires *et al.* (2010), estudando o potencial alelopático da casca de café sobre a taxa de crescimento de diversas espécies vegetais, verificaram a promoção no crescimento de plantas de feijão, soja e alface, e redução na taxa de crescimento das plantas de milho e trigo.

Tabela 6. Produção de matéria secada parte aérea (MSPA), em kg m⁻², da forragem verde hidropônica de milho (FVHM) nos diferentes substratos e soluções nutritivas

| Substratos | Soluções nutritivas | | | | | |
|------------|---------------------|----------------------------------|------|------|------|------|
| | SNP ¹ | ARB ² + % de N da SNP | | | | |
| | | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| BC | 0,29 | 0,28 | 0,25 | 0,28 | 0,29 | 0,25 |
| CC | 0,08 | 0,08 | 0,10 | 0,09 | 0,11 | 0,08 |
| CN | 0,25 | 0,29 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| SS | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,04 |

¹SNP = solução nutritiva padrão ²ARB = água residuária de bovino. BC =bagaço de cana de açúcar; CC = casca de café; CN = capim napier; SS= sem substrato.

Em relação aos tratamentos com ausência de substrato (SS), o acúmulo de solução nutritiva junto às sementes, devido à permanência de todo volume aplicado nas bandejas experimentais, impediu o desenvolvimento da forragem, acarretando morte das plantas em seu estágio inicial de crescimento. Segundo Fermino (2003), a presença do substrato provê

às raízes de espaço poroso para sua oxigenação, o que é fundamental para o êxito da cultura do milho.

Quando se compara o efeito das soluções nutritivas (SNP e as concentrações de N na ARB) nos diferentes substratos, não houve efeito significativo sobre a produção de MSBA e MSPT, o que atesta o uso da ARB substituindo a SNP na produção de FVHM, sem que haja necessidade do enriquecimento da mesma com nitrogênio.

Para MSPA, somente no tratamento com o substrato CN houve diferença significativa entre as soluções, onde a maior produção de MSPA foi obtida pela aplicação das diferentes concentrações de N na ARB (Figura 2). Nesse substrato, a média dos tratamentos para produção de MSPA foi 0,051 kg m² maior nos tratamentos com ARB, correspondendo a um incremento na produção de 12,2 t ha⁻¹ ano⁻¹ de MS em relação à SNP. Este fato pode estar relacionado ao maior teor médio de N presente na ARB (111,45 mg L⁻¹ de N) em relação à SNP (109,51 mg L⁻¹ de N). Gramíneas tropicais apresentam elevado potencial de resposta à adubação nitrogenada, onde aumentos lineares na massa seca de forragem foram obtidos pela aplicação de 250 a 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, conforme relatado por Viana *et al.* (2011).

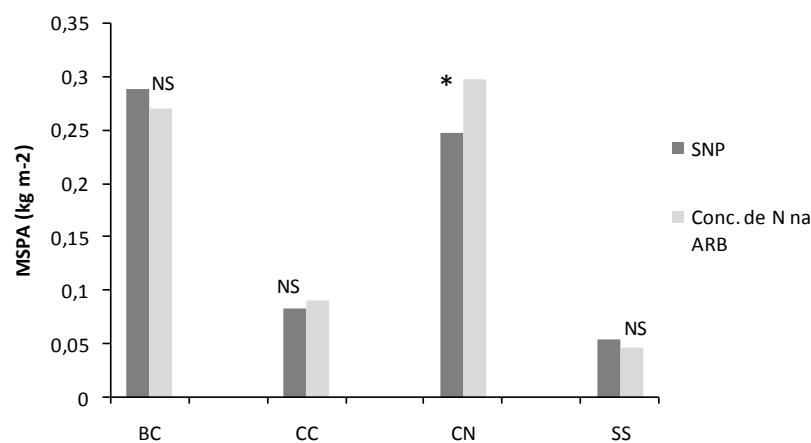


Figura 2. Valores médios da produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) nos diferentes substratos e soluções nutritivas [(SNP) e concentrações de N na ARB em relação à SNP (0; 25; 50; 75 e 100%)] * =significativo e NS= não significativo para o teste de F $p < 0,05$.

A análise dos contrastes entre as médias dos tratamentos para matéria seca da base (MSBA) mostra no 1º contraste que a presença dos substratos é significativamente superior ao tratamento SS (Figura 3). Verifica-se no 2º contraste que para os tratamentos que receberam o substrato CC, a produção média de MSBA foi significativamente superior aos tratamentos com BC e CN. Quando se compara no 3º contraste as médias dos tratamentos com os substratos BC e CN, não se verifica diferença entre os substratos na produção de MSBA. As diferenças entre os substratos estão relacionadas ao peso inicial dos mesmos, de respectivamente, 4,34; 2,56 e 2,35 kg m⁻², para CC, BC e CN. Na Tabela 7 são apresentados os valores médios de produção de matéria seca da base (MSBA) (raízes + substrato + sementes não germinadas) da FVHM, nos diferentes substratos, utilizando diferentes soluções nutritivas.

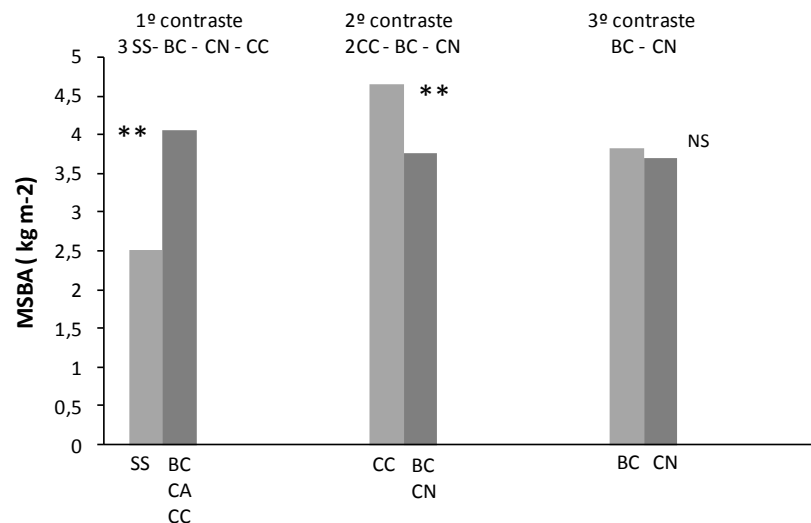


Figura 3. Efeito nos substratos das diferentes soluções (SNP e concentração de N na ARB) sobre a produção de matéria seca da base (MSBA) (kg m⁻²) **p<0,01 e NS= não significativo para o teste de F.

Tabela 7 Produção de matéria seca da base (MSBA), em kg m^{-2} , da forragem verde hidropônica de milho (FVHM) nos diferentes substratos e soluções nutritivas

| Substratos | Soluções nutritivas | | | | | |
|------------|---------------------|----------------------------------|------|------|------|------|
| | SNP ¹ | ARB ² + % de N da SNP | | | | |
| | | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| BC | 3,73 | 4,02 | 3,77 | 3,77 | 3,76 | 3,85 |
| CC | 4,78 | 4,64 | 4,68 | 4,72 | 4,49 | 4,54 |
| CN | 3,84 | 3,80 | 3,57 | 3,66 | 3,65 | 3,64 |
| SS | 2,51 | 2,58 | 2,51 | 2,52 | 2,53 | 2,52 |

¹SNP = solução nutritiva padrão ²ARB = água residuária de bovino. BC =bagaço de cana de açúcar; CC = casca de café; CN = capim napier; SS= sem substrato.

O efeito do fator substrato sobre a produção de matéria seca da planta toda (MSPT) é mostrado na Figura 4. Observa-se que a média do primeiro contraste é superior para os tratamentos com substratos. No segundo contraste, houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os substratos, tendo a casca de café (CC) apresentado os melhores resultados. Isto se deve ao peso mais elevado deste substrato ($4,34 \text{ kg m}^{-2}$), uma vez que essa porção contribui de forma significativa na composição da MSPT. Foi verificado no terceiro contraste que não houve diferença significativa entre BC e CN.

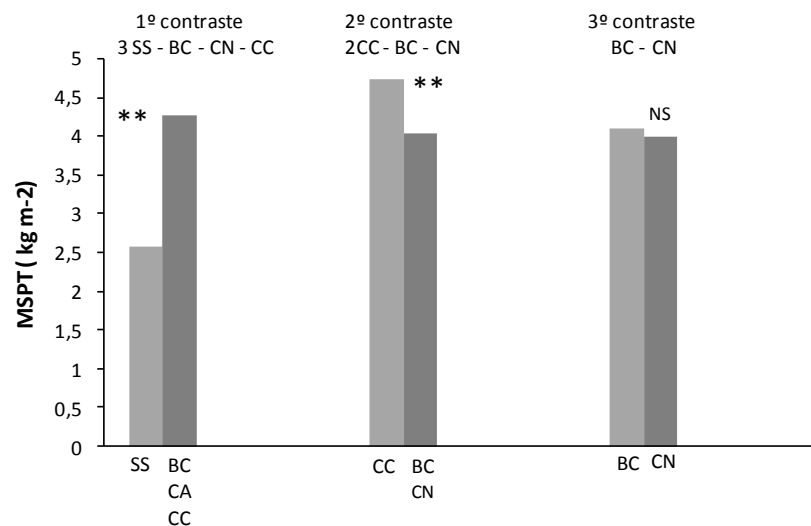


Figura 4. Efeito dos substratos sobre a produção de matéria seca da planta toda (MSPT) (kg m^{-2}) ** $p < 0,01$ e NS= não significativo para o teste de F.

A MSPT é fortemente influenciada pelos componentes que formam a MSBA (raízes + sementes não germinadas + substrato), principalmente pelo componente substrato, que concorre com proporção elevada na composição da MSPT. Para os tratamentos contendo BC, CC, CN e SS, a MSBA contribuiu com 93,4%; 98,1%; 92,7% e 98,4% respectivamente, do peso da MSPT.

Na Tabela 8 são apresentados os valores médios de produção de matéria seca da planta toda (MSPT) da FVHM, nos diferentes substratos, utilizando as diferentes soluções nutritivas.

Tabela 8. Produção de matéria seca da planta toda (MSPT), em kg m⁻², da forragem verde hidropônica de milho (FVHM) nos diferentes substratos e soluções nutritivas

| Substratos | Soluções nutritivas | | | | | |
|------------|---------------------|----------------------------------|------|------|------|------|
| | SNP ¹ | ARB ² + % de N da SNP | | | | |
| | | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| BC | 4,02 | 4,30 | 4,02 | 4,05 | 4,05 | 4,10 |
| CC | 4,86 | 4,72 | 4,78 | 4,81 | 4,60 | 4,63 |
| CN | 4,09 | 4,09 | 3,87 | 3,97 | 3,95 | 3,94 |
| SS | 2,56 | 2,62 | 2,56 | 2,58 | 2,58 | 2,56 |

¹ SNP=solução nutritiva padrão, ² ARB=água residuária de bovino, BC =bagaço de cana-de-açúcar; CC = casca de café; CN= capim napier; SS= sem substrato.

Não se pode afirmar que o tratamento contendo o substrato casca de café (CC) produza a melhor forragem, uma vez que a produção de MSPA nesse substrato, bem como a do tratamento sem substrato (SS), foi mínima. O estudo da análise da composição nutricional da forragem produzida poderá fornecer maiores subsídios na indicação de qual tratamento será melhor para alimentação animal.

CONCLUSÕES

1. A água residuária de bovino (ARB) pode ser utilizada em substituição à solução nutritiva padrão (SNP) na produção da forragem verde hidropônica de milho.
2. O enriquecimento da ARB com nitrogênio não promoveu um incremento significativo na produção de matéria seca da forragem verde hidropônica de milho.
3. Há diferença entre os substratos utilizados, tendo o capim elefante (CN) e o bagaço de cana (BC) apresentado melhores desempenhos no desenvolvimento da parte aérea da forragem verde hidropônica de milho. O incremento na produção de MSPA nos substratos BC e CN foi, respectivamente, de 85,6% e 66,6%, em relação ao SS, e de 86,6% e 69,8%, em relação ao CC.

REFERÊNCIAS

- Alves MJ, Pereira OG, Cecon PR, Rovetta R, Ribeiro KG & Martins FH (2001) Rendimento forrageiro e valor nutritivo do capim Tifton 85, sob diferentes doses de nitrogênio, colhido ao atingir 30, 40 e 50 cm de altura. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Piracicaba. Anais, p.169-170.
- Alves VMC, Vasconcellos CA, Freire FM, Pitta GVE, França GEde, Rodrigues Filho A, Araújo JMde, Vieira, JR & Loureiro, JE (1999) Milho. In: Ribeiro AC, Guimarães PTG & Alvarez VHV Recomendações para o uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação. Viçosa, CFSEMG. p.314-316.
- Carneiro JC, Valentim JF & Wendling IJ (2001) Avaliação de *Brachiaria* spp nas condições edafoclimáticas do Acre. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Piracicaba. Anais. p.162-163.
- Campêlo JEG (2007) Forragem de milho hidropônico produzida com diferentes substratos. Revista Brasileira de Zootecnia, 36(2):276-281.
- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2006) Forraje verde hidropônico. vol.1, Santiago-Chile 73p (Manual técnico).
- Fermino, M.H. (2003). Métodos de análise para caracterização física de substratos para plantas. Tese Doutorado - Porto Alegre – RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 89p.
- Martinez HEP & Silva Filho JB (2006) Introdução ao Cultivo hidropônico de plantas. 3º Ed. Viçosa, Editora UFV, 111 p.
- Neves ALA (2009) Cultivo de milho hidropônico para alimentação animal. Viçosa, CPT. 242p.

- Osburn RC & Burkhead CE (1992) Irrigating vegetables with wastewater. *Water Environment & Technology*, 4:38-43.
- Pate R, Pohl P, Davis J, Campbell J, Szumel L, Berry N, Gupta V, Baynes E, Nakaoka T, Loest C, Waggoner J, Giacomelli G, Jordan J, Aguirre C, Ramos D, Ochoa J & Aguilar J Systems (2005) Assessment of Water Savings Impact of Controlled Environment Agriculture Utilizing Wirelessly Networked - Sense Decide Act Communicate (SDAC) Systems. New Mexico, Sandia National Laboratories, 120p.
- Pires RMO, França AC & Nery MCS (2010) Potencial alelopático de cascas de café no crescimento de plantas. Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas. Ribeirão Preto – SP. p.1081-1086.
- Resh H (1997) Hydroponic food productions. 5^a ed. California, Woodbridge Press Publishing Company. 527p.
- Roversi, T. (2004) Efeito do condicionamento fisiológico sobre o desempenho de sementes para produção de forragem hidropônica. Tese Doutorado – Santa Maria – RS, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 113p.
- SAEG (2009) Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes – UFV – Viçosa, 287p.
- Santos NA, Soares TM, Silva EF, Silva DJR, & Montenegro AAA. (2010) Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14:961-969.
- Soares TM, Duarte SN, Silva EFF & Jorge C (2006) Combinação de águas doce e salobra para produção de alface hidropônica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14:705-714.
- Silva DJ & Queiroz AC (2009) Análises de alimentos: métodos químicos e biológicos. 3^a ed. Viçosa. UFV, 235p.
- Viana MCM, Freire FM, Ferreira JJ, Macêdo GAR, Cantarutti RB, Mascarenhas MHT (2011) Adubação nitrogenada na produção e composição química do capim braquiária sob pastejo rotacionado *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40:1497-1503.
- Wolters GMVH & Boerekamp JAM (1994) Reduction of wastewater from cleaning of milking equipment. In: International Dairy Housing Conference, Orlando, American Society of Agricultural Engineers, p.700-3.

3.2 Composição nutricional e digestibilidade *in vitro* da forragem verde hidropônica de milho produzida em substratos orgânicos utilizando água residuária de bovino

Nutritional composition and *in vitro* digestibility of hydroponic forage of maize using organic substrates and bovine wastewater

(Preparado de acordo com as normas da Revista Semina: Ciências Agrárias)

Resumo

Avaliou-se a composição nutricional e a digestibilidade *in vitro* da forragem verde hidropônica de milho (FVHM) produzida em diferentes substratos orgânicos, aplicando soluções nutritivas preparadas com diferentes concentrações de nitrogênio na água residuária de bovino (ARB). O delineamento estatístico foi o de blocos casualizados num esquema fatorial (4 x 5) + 4 tratamentos adicionais, com 3 repetições. As soluções nutritivas utilizadas foram: testemunha (solução nutritiva padrão para hidroponia de milho - SNP) e ARB com 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de nitrogênio da SNP, com volume diário de aplicação de 4 L m⁻². Os substratos utilizados foram: bagaço de cana-de-açúcar (BC), casca de café (CC), capim elefante cv napier (CN), além do tratamento sem

substrato (SS). A densidade de semeio foi de $2,5 \text{ kg m}^{-2}$ de sementes de milho pré-germinadas. A colheita foi realizada 15 dias após a instalação do experimento. Foi realizada a análise do valor nutritivo da FVHM determinando as frações de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina e a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS). Pode-se concluir que o substrato afeta o valor nutritivo das forragens para todos os componentes analisados (PB, FDN, FDA, lignina e DIVMS), tendo a forragem produzida nos substratos BC e CN apresentado as melhores características para forragem de boa qualidade. Apenas no substrato CN foi observada diferença entre as soluções nutritivas (SNP x concentrações de N na ARB), onde a aplicação das diferentes concentrações de N na ARB promoveu um incremento no teor proteico e redução no teor de lignina da FVHM. Os resultados obtidos nos trabalhos indicam o potencial de utilização da ARB e dos diferentes substratos (BC e CN) na produção de uma forragem de boa qualidade nutricional.

Palavras-chave: Forragem hidropônica, água residuária, substratos orgânicos, valor nutritivo.

Abstract

We evaluated the nutritional composition and *in vitro* digestibility of hydroponic forage of maize (FVHM) produced in different organic substrates, using nutrient solutions prepared with different concentrations of nitrogen in cattle wastewater (ARB). The statistical design was a randomized block design in a factorial design (4 x 5) + 4 additional treatments with 3 repetitions. The nutrient solutions used were: control (standard nutrient solution for hydroponics corn - SNP) and ARB with 0%, 25%, 50%, 75% and 100% of the nitrogen SNP, with application volume of 4 L m^{-2} . The substrates used were crushed cane sugar (BC), coffee husk (CC), elephant grass cv napier (CN), in addition to treatment without substrate (SS). The seeding density was 2.5 kg m^{-2} maize seed pre-germinated. Plants were harvested 15 days after the experiment. We performed the analysis of the nutritional value of FVHM determining the fractions of crude protein (PB), neutral detergent fiber (FDN), acid detergent fiber (FDA), lignin and *in vitro* dry matter digestibility (DIVMS). It can be concluded that the substrate affects the nutritive value of forages analyzed for all components (PB, FDN, FDA, lignin and DIVMS), and the forage produced on substrates CN and BC presented the

best characteristics for good quality forage. Only the substrate CN difference was observed between the nutrient solutions (SNP x N concentrations in ARB), where the application of different concentrations of N in ARB promoted an increase in protein content and a reduction in lignin content of FVHM. The results obtained in studies indicated the potential use of ARB and various substrates (CN and BC) in the production of a fodder of good nutritional quality.

Key words: Hydroponic forage, wastewater, organic substrates, nutritional composition.

Introdução

Existe um grande desafio em estabelecer técnicas de produção de alimento volumoso que sejam eficazes, competitivas e sustentáveis. De acordo com FLÔRES (2004), a produção de forragem hidropônica é um grande avanço tecnológico na alimentação animal, pois pode ser produzida durante todo o ano, requer baixo consumo de água, possui ciclo curto de produção, produtividade elevada, entre outras características desejáveis.

Dentre os materiais utilizados como substrato, o aproveitamento de resíduos orgânicos disponíveis na região é uma opção de baixo custo. Além disso, sua utilização reduz o acúmulo no ambiente de um passivo ambiental com grande potencial para gerar problemas ambientais. Na escolha do melhor substrato deve ser levado em consideração, além da disponibilidade regional, sua composição química, que influencia diretamente na qualidade da forragem hidropônica produzida (LIMA et al., 2007).

Na produção animal, os ruminantes se destacam especificamente pelo fato de aproveitarem subprodutos e resíduos agrícolas, diminuindo a competição com o homem no consumo de alimentos, implicando em redução de custos na alimentação. Entretanto, a maioria desses resíduos possui elevado teor de componentes indigestíveis como lignina e sílica, além de baixos valores de nitrogênio, minerais e energia, de modo que sua utilização depende de estratégias para torná-los fonte alternativa de alimento aos animais (GESUALDI et al., 2001).

A forragem hidropônica resulta de um processo de germinação de sementes de cereais, desenvolvido em um período de 10 a 15 dias, captando energia do sol e absorvendo os nutrientes contidos em uma solução nutritiva. A forragem pode ser administrada aos rebanhos em sua

totalidade (sementes, folhas, caules, raiz), e quando se utiliza substratos orgânicos estes também poderão ser incorporados na dieta, desde que não sejam depressores do consumo e da digestibilidade de alguns nutrientes, formando, assim, um alimento em que se aproveita tudo (CAMPÊLO, 2007).

Na hidroponia as soluções nutritivas provenientes de fertilizantes químicos industriais, de custo elevado, determinam a exclusão da utilização da técnica por parte de alguns produtores, principalmente dos que utilizam sistemas que visam o desenvolvimento agrícola sustentável (NICOLA, 2002).

O conceito de valor nutritivo refere-se à composição química da forragem e sua digestibilidade. A avaliação química da forragem é de grande importância no fornecimento de informações para se proceder o ajuste da quantidade de nutrientes correspondentes às exigências nutricionais dos animais, permitindo assim a adequada suplementação de dietas à base de volumosos (MOORE, 1994; DUPAS, 2008).

Para avaliar a qualidade de plantas forrageiras, VAN SOEST (1994) propôs um método baseado na separação das diversas frações que constituem as plantas, por meio de reagentes específicos, denominados detergentes. Por meio de detergente neutro, é possível separar o conteúdo celular (parte da forragem solúvel em detergente neutro), que se constitui basicamente de proteínas, gordura, carboidratos solúveis, pectina e outros compostos solúveis em água, da parede celular (parte da forragem insolúvel em detergente neutro), chamada de fibra em detergente neutro (FDN), constituída basicamente de celulose, hemicelulose e lignina. Na sequência, o uso de detergente ácido solubiliza o conteúdo celular e a hemicelulose, além de grande parte da proteína insolúvel, obtendo-se um resíduo insolúvel em detergente ácido, denominado fibra em detergente ácido (FDA), constituída pela fração de celulose e lignina. O tratamento do resíduo de FDA com solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4 72%) ou permanganato promove a solubilização da lignina, permitindo a determinação desta assim como da celulose. O método de Van Soest para a determinação da fibra tem sido o mais utilizado devido à maior acurácia na definição das proporções de importantes constituintes da alimentação animal (SILVA & QUEIROZ, 2009).

A lignina é aceita como a principal responsável pela limitação da digestibilidade das forragens, por ser considerada indigerível e agir na diminuição da fração fibra potencialmente degradável da parede celular (VAN SOEST, 1994).

A digestibilidade é a medida da proporção do alimento consumido que é digerido e metabolizado pelo animal. A princípio, a digestibilidade potencial de todos os componentes da planta, exceto a lignina, é de 100%. Contudo, a digestão completa nunca acontece devido às incrustações de hemicelulose e celulose pela lignina, que tem efeito protetor contra a ação dos microrganismos do rúmen (WEISS, 1994).

A técnica da digestão *in vitro* tem sido largamente utilizada na análise dos mais variados tipos de alimentos fornecidos aos ruminantes. Esse fato se observa em razão da praticidade na determinação dos resultados, uma vez que grande parte do processo é desenvolvida em laboratório. Essa técnica procura simular as condições naturais da digestão. Portanto, torna-se imprescindível que cada etapa da operação seja representativa, o mais fiel possível, do processo digestivo para que os resultados sejam confiáveis (OLIVEIRA et al., 1993).

Este estudo teve por objetivo avaliar a composição química e a digestibilidade *in vitro* da forragem verde hidropônica de milho produzida em diferentes substratos orgânicos, aplicando soluções nutritivas preparadas com diferentes concentrações de nitrogênio na água residuária de bovino (ARB).

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes) – Campus de Alegre, setor de bovinocultura, situado no Município de Alegre, sul do Estado do Espírito Santo, entre as coordenadas geográficas de 20°44'05" a 20°45'51" de latitude Sul e 41°25'50" a 41°29'44" de longitude Oeste.

O experimento seguiu um arranjo fatorial (4 x 5) + 4, cujos fatores e níveis foram: quatro substratos orgânicos [bagaço de cana de açúcar (*Saccharum* sp.) - (BC); casca de café conilon (*Coffea canephora*) - (CC); capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum cv Napier) - (CN) e; sem substrato - (SS)], cinco soluções de água residuária de bovino - ARB (ARB acrescida de 0, 25,

50, 75 e 100% do nitrogênio da solução nutritiva padrão utilizada para produção de milho hidropônico – SNP) mais quatro tratamentos adicionais com SNP para milho em cada substrato orgânico. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com três repetições.

A unidade experimental foi composta por bandejas de polietileno com dimensões de 22 x 22 x 4 cm (C x L x A). Os substratos foram dispostos nas unidades experimentais em camadas de 2 cm recebendo semeadura manual das sementes de milho pré-germinadas, com densidade de semeio de 2,5 kg de sementes m⁻², sendo imediatamente cobertas por outra camada de 2 cm de substrato. Nos tratamentos sem substrato as sementes foram colocadas no fundo das bandejas sendo distribuídas de forma homogênea.

Anteriormente à semeadura, as sementes de milho BR 206 – Embrapa foram submetidas a condicionamento osmótico induzindo a pré-germinação. Tal procedimento constituiu da imersão das sementes em água por 24 horas, com posterior drenagem e período de repouso de 24 h, como preconizado por ROVERSI (2004).

O bagaço de cana-de-açúcar (BC) foi obtido após prensagem da cana como etapa preliminar da produção de cachaça artesanal, sendo após seco ao ar e posteriormente picado em ensiladeira (tamanho médio de partícula de 2 cm). A casca de café conilon (CC) foi obtida a partir do beneficiamento do café em coco, por via seca (fruto do café seco ao sol ou em pré-secadores artificiais), resultando em resíduo formado por casca e pergaminho, acumulado nas propriedades rurais da região. O capim napier (CN) foi obtido de área que não sofreu manejo de corte adequado, encontrando-se as plantas com mais de 150 dias de idade, em estágio de maturação fisiológica avançada. As plantas foram cortadas manualmente a 10 cm do solo e picadas em ensiladeira (tamanho médio de partícula de 2 cm). Antes da instalação do experimento, os substratos foram secos em estufa com ventilação forçada a 65°C até peso constante, com retirada de amostra para análise química, cujo resultado está apresentado na Tabela 1. A análise químico-bromatológica dos substratos seguiu os protocolos analíticos contidos em TILLEY & TERRY (1963), ANKOM (2006), EMBRAPA (2006) e SILVA & QUEIROZ (2009).

Tabela 1. Caracterização químico-bromatológica dos substratos

| Substrato | pH | CE (dS/m) | N-total | C | C/N | DIVMS | PB | FDA | FDN | LIG |
|-----------|-----------------|-----------|-------------|----|-----|-------|------|-------------|------|------|
| | --- água 1:5--- | | -----%----- | | | | | -----%----- | | |
| BC | 4,1 | 0,25 | 0,4 | 44 | 110 | 34,39 | 2,3 | 56,8 | 82,1 | 10,5 |
| CC | 6,0 | 4,0 | 1,8 | 45 | 25 | 19,96 | 10,3 | 55,9 | 67,4 | 26,8 |
| CN | 5,2 | 2,5 | 0,8 | 43 | 54 | 33,46 | 5,8 | 53,3 | 75,5 | 12,2 |

| | K | N amônio | N nitrato | Fe | Cu | Zn | Mn | Ca | Mg |
|----|--------------------------------|----------|-----------|-----|----|----|----|------|-----|
| | -----mg kg ⁻¹ ----- | | | | | | | | |
| BC | 8812 | 253 | 270 | 160 | 8 | 30 | 13 | 3750 | 165 |
| CC | 7875 | 1510 | 75 | 155 | 13 | 34 | 13 | 10 | 57 |
| CN | 6750 | 2015 | 200 | 166 | 11 | 45 | 14 | 3560 | 562 |

pH= potencial hidrogeniônico; CE= condutividade elétrica; N-total= nitrogênio total; C= carbono; C/N= relação carbono nitrogênio; DIVMS= digestibilidade *in vitro* na matéria seca; PB=proteína bruta; FDA= fibra em detergente ácido; FDN= fibra em detergente neutro; LIG=lignina; BC = bagaço de cana-de-açúcar; CC = casca de café ; CN = capim napier

Posteriormente, os substratos receberam volume igual de água tratada da rede urbana para reidratação até atingirem capacidade de recipiente, que é, segundo FERMINO (2003), a máxima capacidade de retenção de água de um substrato em um determinado recipiente, sob as mesmas condições de saturação e drenagem. O excesso de água foi drenado por 12 h. Findo a drenagem, procedeu-se então a pesagem dos substratos, tomando-se como referência o volume ocupado por 4 cm nas bandejas experimentais. O peso inicial das bandejas experimentais, sem as sementes, para casca de café, bagaço de cana-de-açúcar e capim napier foi de 4,34; 2,56 e 2,35 kg m⁻², respectivamente.

Antes do início do experimento, fez-se a instalação de uma estrutura para coleta e armazenamento do efluente oriundo do setor de bovinocultura. A estrutura era composta de duas caixas de polietileno com capacidade de 1000 L cada, dispostas em desnível. A primeira caixa visava a separação da parte sólida da líquida por decantação, e a segunda o armazenamento da parte líquida. O efluente coletado era constituído de dejetos de bovinos (fezes e urina), do descarte

de leite proveniente do teste de mamite, da água de desinfecção de ordenhadeira mecânica, da água de limpeza das instalações, do derrame de bebedouros e dos restos de alimentação. Essa água coletada será aqui denominada de água residuária de bovino (ARB). Uma amostra da ARB foi coletada, devidamente acondicionada em vidro esterilizado e enviada ao laboratório de qualidade da água na Universidade Federal de Viçosa – UFV, para análise física e química (Tabela 2).

Para o armazenamento da ARB a ser utilizada durante o período experimental, foram utilizados vasilhames de polietileno com capacidade para 50 L. A ARB foi acondicionada em vasilhames separados, de acordo com o percentual de N acrescido a mesma, totalizando cinco vasilhames com ARB mais um para acondicionamento da SNP. Como fonte de N utilizou-se a uréia p.a. (45% de N). A SNP (solução nutritiva padrão) para cultivo de milho hidropônico foi preparada seguindo as recomendações presentes em NEVES (2009), que preconiza o uso dos seguintes produtos diluídos em 1.000 litros de água: nitrato de cálcio (410g); nitrato de potássio (360g); sulfato de magnésio (150g); monoamônio fosfato (90g); Fe-EDTA (35g) e; solução concentrada de micronutrientes (20 ml). Para o preparo de 5 L da solução de micronutrientes foram utilizados: 22g de bórax; 4,5g de sulfato de manganês; 9,5g de sulfato de zinco; 4,0g de sulfato de cobre e; 1,5g de molibdato de sódio.

Tabela 2. Caracterização físico-química da água residuária de bovino (ARB), utilizada no experimento

| Ph | CE | ST | SST | SDT | O&G | COfo | DQO | DBO | Ntotal |
|-------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------|------|-------------------|------|--------|--------|
| | μScm^{-1} | -----mg L ⁻¹ ----- | | | | | | | |
| 6,5 | 1449,7 | 659 | 332 | 337 | 2 | 195 | 412 | 135 | 56,7 |
| Ca+Mg | Dureza | Cl | Na | Ptotal | K | N-NO ₃ | Fe | Deterg | |
| | mmol L^{-1} | μS | -----mg L ⁻¹ ----- | | | | | | |
| | CaCO_3 | cm^{-1} | | | | | | | |
| 2 | 100 | <1 | 15 | 7,1 | 20,5 | 0,064 | 1,69 | 0,131 | |

pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica; ST= sólidos totais; SST= sólidos em suspensão totais; SDT= sólidos dissolvidos totais; O&G= óleos e graxas; COfo= carbono orgânico facilmente oxidável; DQO= demanda química de oxigênio; DBO= demanda bioquímica de oxigênio; Ntotal= nitrogênio total; Ptotal= fósforo total; Ca+Mg= cálcio + magnésio; Cl= cloro livre; Na= sódio; K= potássio; N-NO₃= nitrogênio na forma de nitrato; Fe= ferro solúvel; Deterg.= detergentes (substâncias reativas ao azul de metileno).

O volume aplicado das diferentes soluções por unidade experimental foi de 4 L m⁻² dia⁻¹, divididos em três aplicações diárias. Nas aplicações utilizou-se aspersores manuais. As bandejas se encontravam em nível, sobre estrados de arame galvanizado.

Durante todo período experimental, fez-se o monitoramento diário do pH, temperatura e condutividade elétrica das soluções nutritivas, utilizando pHmetro Lutron modelo 221 e condutivímetro Tecnoyon modelo μ CA-150, cujos valores são apresentados na Tabela 3. O pH das soluções foi corrigido para 5,5 – 6,5 () pela aplicação de H₂SO₄ 1 mol L⁻¹, que é o pH de referência citado por NEVES (2009).

Toda forragem, de cada unidade experimental, foi colhida 15 dias após a semeadura. O material foi acondicionado em sacos de papel e submetido à secagem em estufa de ventilação forçada a 65°C até peso constante. Depois de seco, o material foi pesado em balança semianalítica, com precisão de 1 (um) miligrama, obtendo-se assim a matéria seca da planta toda- MSPT (parte aérea + substrato + raiz + sementes não germinadas), de acordo com metodologia descrita por SILVA (2009). Após a obtenção da MSPT, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey e acondicionadas em recipientes plásticos, para posterior determinação do valor nutritivo e digestibilidade *in vitro*.

Tabela 3. Faixas de valores de pH, condutividade elétrica (CE) e temperatura das diferentes soluções nutritivas durante o período experimental

| Soluções | pH ³ medido | CE ⁴ μ S cm ⁻¹ | Temperatura °C |
|--------------------------------|------------------------|--|----------------|
| SNP ¹ | 5,7 – 6,1 | 1197 – 1223 | 26,8 |
| ARB ²⁺ 0% N da SNP | 6,8 – 7,5 | 1480 – 1693 | 29,0 |
| ARB ⁺ 25% N da SNP | 6,6 – 7,4 | 1452 – 2276 | 28,9 |
| ARB ⁺ 50% N da SNP | 6,6 – 7,8 | 1472 – 2332 | 28,9 |
| ARB ⁺ 75% N da SNP | 6,7 – 8,2 | 1472 – 2681 | 28,8 |
| ARB ⁺ 100% N da SNP | 6,6 – 8,3 | 1470 – 2970 | 28,5 |

¹SNP = solução nutritiva padrão; ²ARB = água residuária de bovino; ³Valor de referência: 5,5 a 6,5; ⁴Valor de referência: 1200 - 2000 μ S cm⁻¹.

As análises foram realizadas no Laboratório de Análise de Alimentos (LAA) da EMBRAPA Gado de Leite, em Juiz de Fora – MG.

A determinação de matéria seca (ASE) foi realizada por gravimetria (SILVA & QUEIROZ, 2009). O teor de lignina foi determinado de acordo com metodologia proposta por VAN SOEST (1994) adaptado por SILVA & QUEIROZ (2009). Os teores de celulose, fibra em detergente ácido (FDA) e fibra em detergente neutro (FDN) foram obtidos por meio do método desenvolvido por VAN SOEST (1994), adaptado por ANKOM (2006). Os teores de proteína bruta (PB) foram determinados pelo método Kjeldahl (EMBRAPA, 2006) e a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) pela metodologia descrita em TILLEY & TERRY (1963).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando o aplicativo computacional SAEG (2009). As médias dos contrastes ortogonais foram testadas aplicando o teste F ($p < 0,01$ e $p < 0,05$), onde se verificou o efeito dos substratos, das soluções nutritivas, suas interações e dos tratamentos adicionais sobre os parâmetros avaliados.

Os contrastes ortogonais (C) utilizados para estudar os efeitos dos substratos estão esquematizados na Tabela 4, onde $C_1 = 3SS-BC-CC-CN$, compara a média dos tratamentos sem substrato vs as médias dos tratamentos com substrato; $C_2 = 2CC-BC-CN$, compara as médias dos tratamentos com casca de café vs os bagaço-de- cana e capim napier e; $C_3 = BC-CN$, compara as médias dos tratamentos que receberam bagaço de cana vs capim napier. Para os tratamentos adicionais, onde se comparou a SNP com as concentrações de N (0; 25; 50; 75 e 100% da SNP) na ARB, nos diferentes substratos, foi montado os contrastes de acordo com a Tabela 5.

Tabela 4. Contrastes ortogonais utilizados para testar as diferenças entre as médias dos tratamentos com os diversos substratos

| Contrastes | Substratos | | | |
|------------|------------|----|----|----|
| | SS | CC | CN | BC |
| C_1 | 3 | -1 | -1 | -1 |
| C_2 | 0 | 2 | -1 | -1 |
| C_3 | 0 | 0 | 1 | -1 |

BC = bagaço de cana-de-açúcar ; CC = casca de café ; CN = capim napier ; SS = sem substrato

Tabela 5. Contrastes ortogonais para testar o efeito das soluções nos diferentes substratos

| Substrato | Contrastes | Soluções | | | | | |
|-----------|------------|----------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| | | SNP | ARB _{0%} | ARB _{25%} | ARB _{50%} | ARB _{75%} | ARB _{100%} |
| BC | C1 | 5 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| CC | C2 | 5 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |

| | | | | | | | |
|----|----|---|----|----|----|----|----|
| CN | C3 | 5 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| SS | C4 | 5 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |

BC = bagaço de cana-de-açúcar ; CC = casca de café ; CN = capim napier; SS = sem substrato ARB= água residuária de bovino (0; 25; 50; 75 e 100% de N da SNP).

Resultados e Discussão

Houve efeito significativo do fator substrato ($p < 0,01$) para todos os atributos analisados (PB, FDN, FDA, lignina e DIVMS). Entretanto, somente foram observados efeitos significativos das concentrações de N na ARB para lignina, onde se procedeu o estudo de regressão. Houve efeito significativo da interação entre os fatores concentrações de N na ARB x substratos somente para DIVMS, onde se procedeu o desdobramento para verificação do efeito das concentrações de N na ARB dentro dos diferentes substratos. Para os tratamentos adicionais, onde se compara o efeito das soluções nutritivas (SNP e ARB), houve diferença significativa somente no substrato CN para os atributos PB, FDA e lignina.

Na análise dos contrastes para verificar o efeito do fator substrato sobre os teores de PB na matéria seca (MS) (Figura 1), observa-se no C₁ diferença significativa ($p < 0,01$), onde as médias dos tratamentos SS foram 1,14 vezes inferiores às médias dos tratamentos com substrato. No C₂ também houve diferença significativa entre as médias, onde os tratamentos com substrato o CC foi 1,4 vezes maior que as médias dos tratamentos com BC e CN. No C₃, a média dos tratamentos com o substrato BC apresentou diferença significativa 1,3 vezes menor que a média dos tratamentos com o substrato CN.

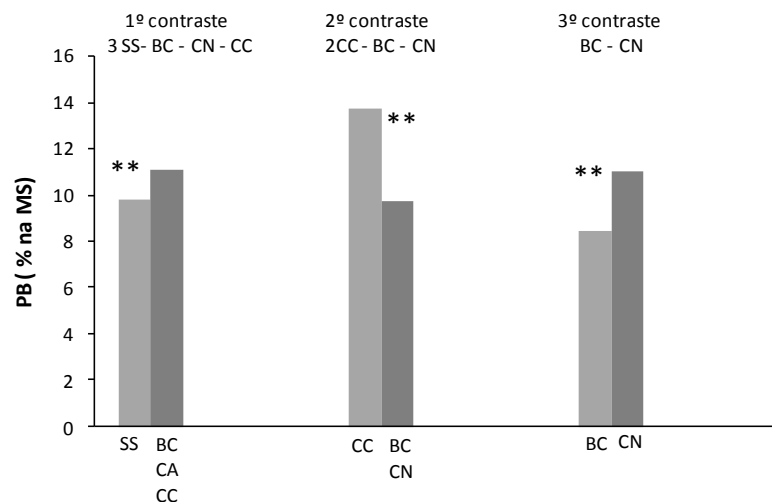


Figura 1. Efeito de substrato sobre os teores de proteína bruta (PB) da forragem verde hidropônica de milho (FVHM) ** $p < 0,01$

Os teores de proteína bruta (PB) na forragem verde hidropônica de milho (FVHM), produzida com os diferentes substratos utilizando percentuais crescentes de N na ARB, são apresentados na Tabela 6. SOARES (2002) encontrou níveis de PB nas pastagens na faixa de 6,0 a 8,5% na matéria seca (MS); 8% para a silagem de milho e 5,5% para a silagem de sorgo. Observa-se que em todos os tratamentos, os teores de PB são superiores aos níveis críticos indicados pelo autor supracitado para pastagens, próximos à silagem de milho e superiores à silagem de sorgo. Pode-se constatar ainda que a variação nos teores de PB da FVHM é muito influenciada pela presença dos substratos BC, CC e CN que apresentam teores médios de PB na MS de 2,23%, 10,28%; e 5,77%, respectivamente. Participam também destes teores de PB as sementes não germinadas e a parte aérea da forragem produzida. Para os tratamentos SS, a maior parte do teor protéico apresentado se refere aos grãos de milho não germinados. Folhas apresentam maiores teores de N em relação aos outros constituintes (raízes, colmo e substratos) (OLIVEIRA *et al.* 2011), o que lhe confere maior teor de PB.

Segundo VAN SOEST (1994), baixas concentrações de PB na MS restringem o consumo voluntário e a digestão da forragem, devido aos inadequados níveis de nitrogênio para os microrganismos do rúmen, diminuindo sua população. PEREIRA *et al.* (2003) trabalhando com FVHM produzida sobre substrato de capim elefante obtiveram teores de 11,7 e 13,1% PB na MS para forragem colhida aos 16 e 22 dias respectivamente.

Tabela 6. Teores de proteína bruta (PB) da forragem verde hidropônica de milho em diferentes substratos e soluções nutritivas (% de PB na MS)

| Substratos | Soluções Nutritivas | | | | | |
|------------|---------------------|----------------------------------|------|------|------|------|
| | SNP ¹ | ARB ² + % de N da SNP | | | | |
| | | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| BC | 8,6 | 7,7 | 8,3 | 8,5 | 9,1 | 8,5 |
| CC | 13,0 | 13,4 | 13,6 | 14,0 | 14,0 | 14,3 |
| CN | 9,9 | 10,6 | 11,6 | 11,5 | 11,0 | 11,6 |

SS 9,6 9,7 9,6 9,7 9,5 10,5

¹ SNP = solução nutritiva padrão, ² ARB=água residuária de bovino; BC= bagaço de cana-de-açúcar; CC = casca de café; CN=capim napier; SS= sem substrato

Com relação aos teores de FDN das forragens produzidas, a análise dos contrastes demonstra o seguinte (Figura 2): no C₁ houve diferença significativa ($p < 0,01$), onde a média dos tratamentos com substrato foi 4,4 vezes maior que a média dos tratamentos sem substrato (SS). No C₂, a diferença entre as médias dos tratamentos que receberam o substrato CC foi 1,15 vezes maior que os tratamentos com BC e CN. No C₃ não houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos com o substrato BC e as médias obtidas dos tratamentos com CN. De acordo com a Tabela 7, a forragem produzida com os substratos CN e BC apresentam valores de FDN dentro das exigências técnicas para consumo, enquanto que a obtida com CC não se apresenta dentro dos valores considerados satisfatórios para uma forragem de boa qualidade. Segundo VAN SOEST (1994), o teor de FDN é potencialmente, o fator mais limitante do consumo de volumosos, sendo que teores dos constituintes da parede celular superiores a 60% na matéria seca correlacionam-se de forma negativa com o consumo de forragem, visto que a fermentação e a taxa de passagem da fração fibrosa pelo rúmen-retículo são mais lentos que outros constituintes dietéticos. Sendo assim, a concentração de FDN é o componente da forragem mais consistentemente associado ao consumo. Em contrapartida, o NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC (2001) estabelece que dietas de vacas em lactação devam conter, no mínimo, 25% a 28% de FDN, e que 75% deste total deve ser suprido por forragens.

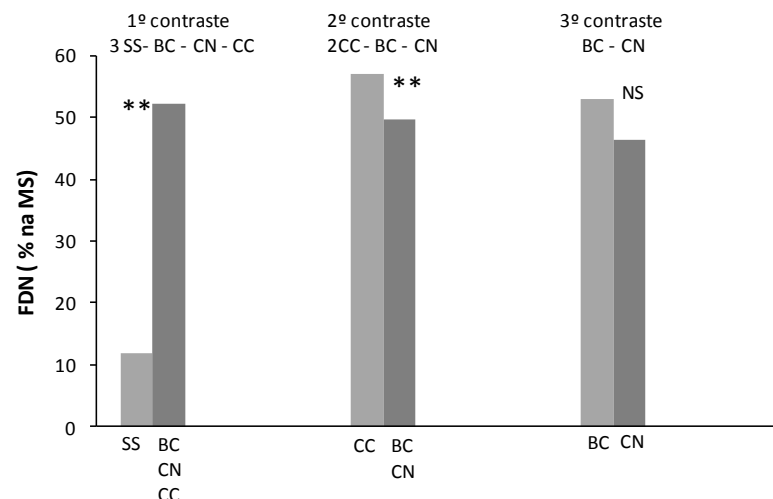


Figura 2. Efeito de substrato sobre os teores de fibra em detergente neutro da forragem verde hidropônica de milho (FVHM) ** $p < 0,01$ NS= não significativo pelo teste F.

FLÔRES (2009), trabalhando com diferentes densidades de semeio de milho sobre feno de aveia e colheita em duas idades, 10 e 17 dias, obteve valores de FDN de 41,00% e 45,25%, respectivamente, para densidade de semeio de 2 kg m^{-2} .

A natureza e concentração dos carboidratos estruturais da parede celular, principalmente hemicelulose, celulose e lignina, quantificados por meio da FDN, são os principais determinantes da qualidade dos alimentos volumosos, especialmente de forragens (VAN SOEST, 1994).

Tabela 7. Fibra em detergente neutro (FDN), em % da MS, da forragem verde hidropônica de milho produzida em diferentes substratos e soluções nutritivas

| Substratos | Soluções Nutritivas | | | | | |
|------------|---------------------|----------------------------------|------|------|------|------|
| | SNP ¹ | ARB ² + % de N da SNP | | | | |
| | | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| BC | 54,0 | 54,4 | 53,7 | 52,6 | 50,0 | 53,0 |
| CC | 56,9 | 57,3 | 55,3 | 55,8 | 58,5 | 58,6 |
| CN | 47,5 | 45,6 | 46,7 | 45,8 | 46,6 | 46,3 |
| SS | 11,6 | 11,8 | 11,4 | 11,4 | 12,0 | 13,4 |

¹ SNP = solução nutritiva padrão, ² ARB=água residuária de bovino BC= bagaço de cana-de-açúcar; CC = casca de café; CN=capim napier; SS= sem substrato

Segundo MERTENS (2001), a FDA indica a quantidade de fibra que não é digestível, pois contém maior proporção de lignina.

Para os teores de fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) das forragens produzidas, a análise dos contrastes demonstra o seguinte (Figura 3): no C₁ obteve-se diferença significativa, onde as médias dos tratamentos com substrato foi 11,2 vezes maior que a média dos tratamentos SS. No C₂ também houve diferença entre as médias, onde os tratamentos com o substrato CC foi 1,4 vezes maior que os tratamentos com BC e CN. No

C₃ a média dos tratamentos com substrato BC foi 1,15 vezes maior que as médias dos tratamentos com CN.

Os teores de FDA (% MS) (Tabela 1 e 8) nos substratos BC, CC e CN foram de 56,81; 55,91; 53,30 respectivamente, o que influenciou fortemente os teores de FDA nas forragens produzidas. Os valores de FDA se encontram dentro dos níveis aceitáveis para os tratamentos que receberam CN e BC. Para o tratamento SS os valores de FDA são mínimos devido à grande presença das sementes de milho não germinadas, que apresentam baixos teores de FDA. Para os tratamentos com CC, os valores são superiores a 30%, como preconizados por MERTENS (2001) para uma boa forragem

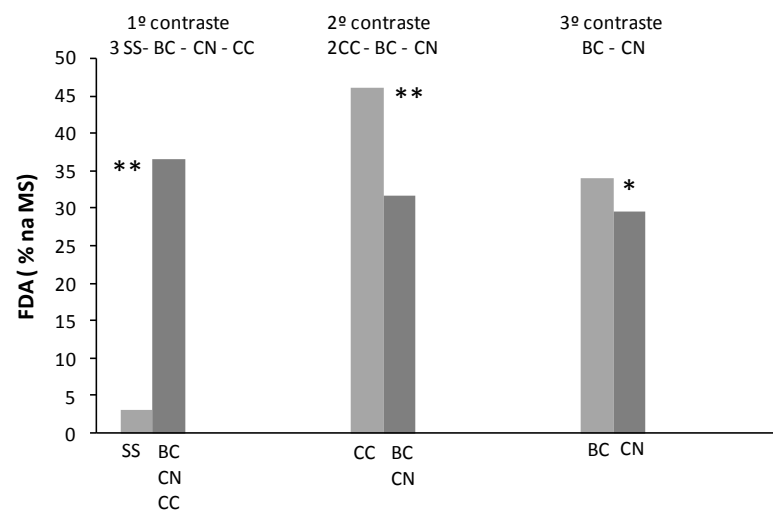


Figura 3. Efeito de substrato sobre os teores de fibra em detergente ácido da forragem verde hidropônica de milho (FVHM) ** $p < 0,01$ * $P < 0,05$

MÜLLER et al. (2006), trabalhando com forragem hidropônica de milheto, encontraram teores de FDA de 47,63% e 51,43%, nas plantas colhidas aos 10 e 20 dias de idade. Os autores atribuíram valores tão altos, principalmente, devido ao substrato utilizado (feno de capim elefante). Para FVHM produzidas sem substrato com 10 e 17 dias de idade, FLÔRES (2009) encontrou valores de FDA 20,75% e 24,50% da MS. Valores semelhantes ao presente trabalho foram observados por AMORIM et al. (2005): 35,4%,

39,6% e 34,6% de FDA em forragem hidropônica de milho produzida sobre substrato de bagaço de cana-de-açúcar hidrolisado, grama e cama de frango, respectivamente

Tabela 8. Fibra em detergente ácido (FDA), em % da MS, da forragem verde hidropônica de milho produzida em diferentes substratos e soluções nutritivas

| Substratos | Soluções Nutritivas | | | | | |
|------------|---------------------|----------------------------------|------|------|------|------|
| | SNP ¹ | ARB ² + % de N da SNP | | | | |
| | | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| BC | 33,7 | 34,2 | 33,9 | 33,4 | 29,8 | 35,4 |
| CC | 46,2 | 46,6 | 44,7 | 44,8 | 47,1 | 46,7 |
| CN | 32,5 | 28,3 | 28,9 | 28,2 | 32,9 | 29,6 |
| SS | 3,7 | 3,1 | 2,7 | 3,2 | 3,1 | 3,7 |

¹ SNP = solução nutritiva padrão, ² ARB=água residuária de bovino BC= bagaço de cana-de-açúcar ; CC = casca de café; CN=capim napier; SS= sem substrato

Na Figura 4 pode-se verificar o efeito dos substratos sobre o teor de lignina nas forragens produzidas. No C₁ houve diferença significativa (p<0,01), onde a média do tratamento SS foi 14 vezes menor que as médias dos tratamentos que receberam os substratos orgânicos. No C₂ também houve diferença entre as médias dos tratamentos, onde a presença do substrato CC promoveu incremento de 3,6 vezes no teor de lignina em relação aos tratamentos com BC e CN. No C₃ a média dos tratamentos com substrato BC foi semelhante às médias dos tratamentos com CN.

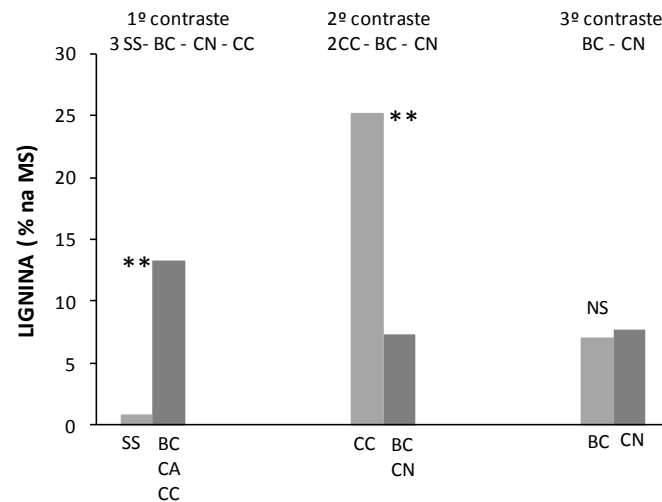


Figura 4. Efeito de substrato sobre os teores de lignina da forragem verde hidropônica de milho (FVHM) ** $p < 0,01$ NS=não significativo pelo teste F.

Os tratamentos que receberam os substratos BC e CN apresentam teores aceitáveis de lignina para uma boa forragem (Tabela 9). Entretanto, nos tratamentos que receberam CC os teores de lignina estão próximos aos valores críticos recomendados para uma forragem de boa qualidade. Segundo MERTENS (2001), valores superiores a 25% de lignina na MS, implicam em menor consumo de matéria seca pelo animal e menor a digestibilidade da forragem.

A lignina é um dos carboidratos presentes na determinação da FDA, sendo também um componente da FDN. Considerada indigerível e inibidora da digestibilidade das plantas forrageiras, seu teor aumenta com a maturidade fisiológica das plantas e, dependendo do grau de lignificação, dificulta o aproveitamento da celulose e hemicelulose que são fontes de energia para os ruminantes (VAN SOEST, 1994).

Tabela 9. Percentual de lignina da forragem verde hidropônica de milho produzida em diferentes substratos e soluções nutritivas

| Substratos | Soluções Nutritivas | | | | | |
|------------|---------------------|----------------------------------|------|------|------|------|
| | SNP ¹ | ARB ² + % de N da SNP | | | | |
| | | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| BC | 6,9 | 6,3 | 6,8 | 6,7 | 7,5 | 7,9 |
| CC | 24,6 | 25,5 | 24,7 | 24,5 | 25,8 | 26,9 |
| CN | 6,9 | 7,3 | 7,8 | 8,1 | 7,9 | 8,2 |

| | | | | | | |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| SS | 0,9 | 1,3 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 1,0 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

¹ SNP = solução nutritiva padrão, ² ARB=água residuária de bovino BC= bagaço de cana-de-açúcar ; CC = casca de café; CN=capim napier; SS= sem substrato

A FDA está relacionada com a digestibilidade da forragem, já que contém a maior proporção de lignina na fração indigestível da fibra. A importância da lignina na forragem está voltada não somente para a questão de sua própria indigestibilidade, mas também a sua ligação com outros componentes da fibra, indisponibilizando outros carboidratos à degradação dos microrganismos do rúmen (HINDRICHSEN, 2006).

O efeito significativo ($p < 0,05$) das diferentes concentrações de N na ARB sobre os teores de lignina é demonstrado na Figura 5, onde os aumentos na concentração de N levaram a aumento no teor de lignina. Alguns autores (LEAL et al., 1994; FUZETO, 2003, MACEDO et al., 2012) observaram acréscimo nessa fração juntamente com o aumento da celulose atribuindo tal resultado ao efeito de concentração causado pela diminuição de um ou mais constituintes da parede celular. Os mesmo autores também creditam o aumento no teor de lignina pelo acréscimo das doses de nitrogênio à reação de Maillard, segundo a qual ocorre retenção de nitrogênio na lignina. Pode-se ainda atrelar o resultado ao maior desenvolvimento da parte aérea das forragens, uma vez que a lignina constitui um polímero fenólico que se associa aos carboidratos estruturais, celulose e hemicelulose, durante o processo de formação da parede celular.

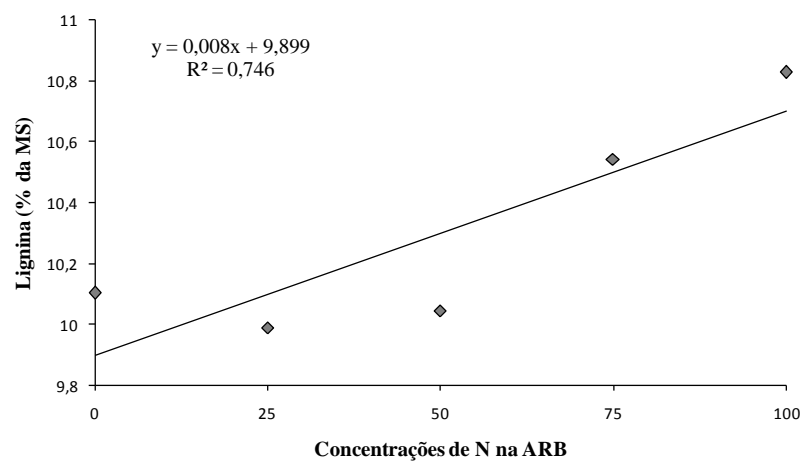


Figura 5. Efeito das concentrações de N na ARB sobre o teor de lignina da FVHM.

Na análise dos contrastes para verificar o efeito do fator substrato sobre a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) (Figura 6), observa-se no C₁ diferença significativa, onde a média dos tratamentos sem substratos (SS) foi 1,9 vezes superior à média dos tratamentos com substrato. No C₂ também houve diferença significativa entre a média dos tratamentos, onde a DIVMS para os tratamentos que receberam o substrato CC foi 1,5 vezes menor que nos tratamentos com os substratos BC e CN. No C₃, a média dos tratamentos com BC foi somente 1,06 vezes superior à média dos tratamentos com o substrato CN.

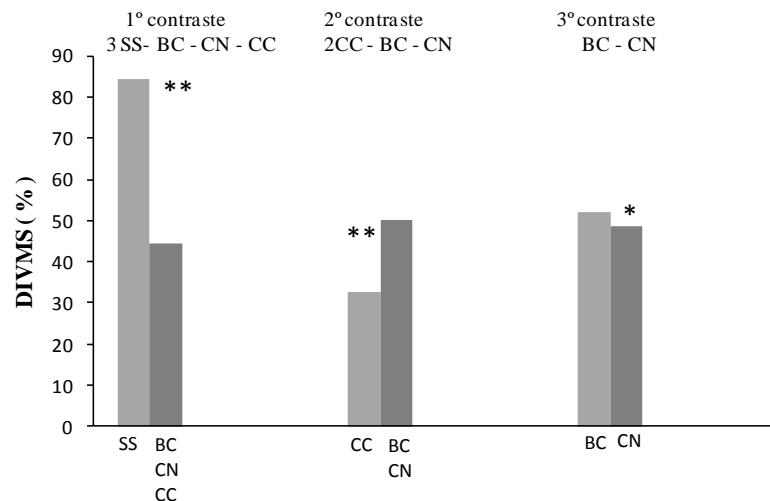


Figura 6. Efeito de substrato sobre a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) da forragem verde hidropônica de milho (FVHM) ** $p < 0,01$ * $p < 0,05$

Os valores de DIVMS referentes aos substratos BC, CN e CC são 34,39%, 33,46% e 19,96% (Tabela 1) respectivamente, onde se observa a semelhança entre BC e CN e a inferioridade para CC. Pode-se observar que houve redução na DIVMS (Tabela 10) para todos os tratamentos com substratos, possivelmente devido à umidade presente durante o período experimental, aos teores de uréia, diminuindo a relação C:N da forragem produzida nas diferentes concentrações de ARB, além da presença na ARB de uma microbiota originária do rúmen que auxilia no processo inicial de decomposição dos diversos componentes da MS da forragem (TONUCCI, 2006). Nos tratamentos SS os valores de DIVMS foram mais elevados que os demais, possivelmente devido a presença das sementes de milho não germinadas, em relação aos tratamentos que recebera substrato. HOLDEN (1999) avaliando o milho moído encontrou valores de 88,21% de digestibilidade da matéria seca, semelhante aos tratamentos SS.

À medida que avança a idade fisiológica da planta, ocorre aumento das porcentagens de celulose, hemicelulose e lignina reduzindo, assim, a proporção de nutrientes potencialmente digestíveis (carboidratos solúveis, proteínas, minerais e vitaminas), representando queda acentuada na digestibilidade da forragem (REIS et al., 2005).

Tabela 10. Percentual de digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) da forragem verde hidropônica de milho produzida em diferentes substratos soluções nutritivas

| Substratos | Soluções Nutritivas | | | | | |
|------------|---------------------|----------------------------------|------|------|------|------|
| | SNP ¹ | ARB ² + % de N da SNP | | | | |
| | | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| BC | 51,8 | 51,9 | 52,7 | 51,4 | 52,9 | 50,6 |
| CC | 32,1 | 31,3 | 34,4 | 34,2 | 32,1 | 32,2 |
| CN | 49,9 | 53,1 | 47,9 | 44,9 | 47,8 | 47,7 |
| SS | 84,3 | 85,5 | 84,8 | 83,9 | 83,5 | 83,3 |

¹ SNP = solução nutritiva padrão, ² ARB=água residuária de bovino BC= bagaço de cana-de-açúcar; CC = casca de café; CN=capim napier; SS= sem substrato.

No estudo da interação entre substratos e concentrações de N na ARB, verifica-se o efeito significativo para a DIVMS. No desdobramento da interação foi analisado o efeito de substratos dentro de cada concentração de N na ARB, como demonstrado na Figura 7. No C₁ observa-se diferença significativa ($p < 0,01$) entre as médias dos tratamentos SS para todas as concentrações de N na ARB em relação aos tratamentos com substrato orgânicos. No C₂, a média dos tratamentos com CC sempre foi inferior à média dos tratamentos com a presença do substrato BC e CN. No C₃ ocorreu diferença significativa ($p < 0,01$) na DIVMS, para as concentrações de 25%, 50% e 75% de N na ARB.

A interação entre teor de N e digestibilidade do substrato pode estar relacionado ao acréscimo de nitrogênio total das forragens. De acordo com FAHMY (2004), o efeito do nitrogênio sobre a parede celular acontece devido ao rompimento das ligações ésteres entre os componentes da parede celular e os ácidos fenólicos e à despolimerização parcial da lignina. Outro fator importante na degradabilidade foi observado por SILVA (1988), onde concluíram que a

amonização proporciona melhores condições para a colonização de microrganismos ruminais. Em seu experimento, os autores observaram que a palhada amonizada do capim tifton apresentou maior degradabilidade *in situ* e um maior número de bactérias celulolíticas aderidas à parede celular do que a não tratada, aumentando desta forma a digestibilidade de seus componentes.

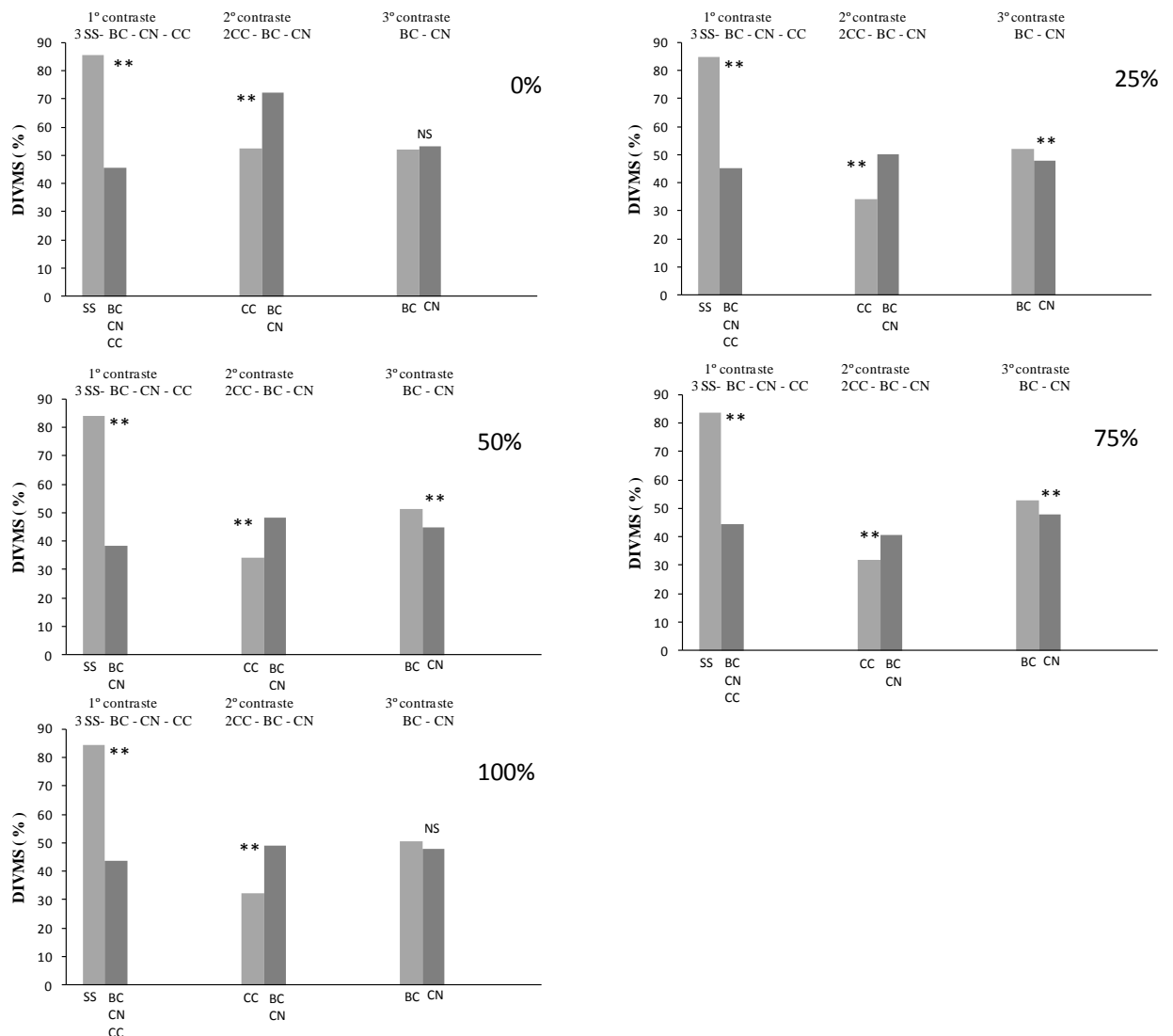


Figura 7. Efeito dos substratos e, das diferentes concentrações de N na ARB sobre a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) da forragem verde hidropônica de milho (FVHM)
 ** $p < 0,01$ * $p < 0,05$ NS = não significativo pelo teste F.

Com relação aos tratamentos adicionais onde se comparou as soluções nutritivas (SNP x ARB), verificou-se efeito significativo ($p < 0,05$) para PB, FDA e lignina somente para os tratamentos que receberam o substrato CN (Figura 8).

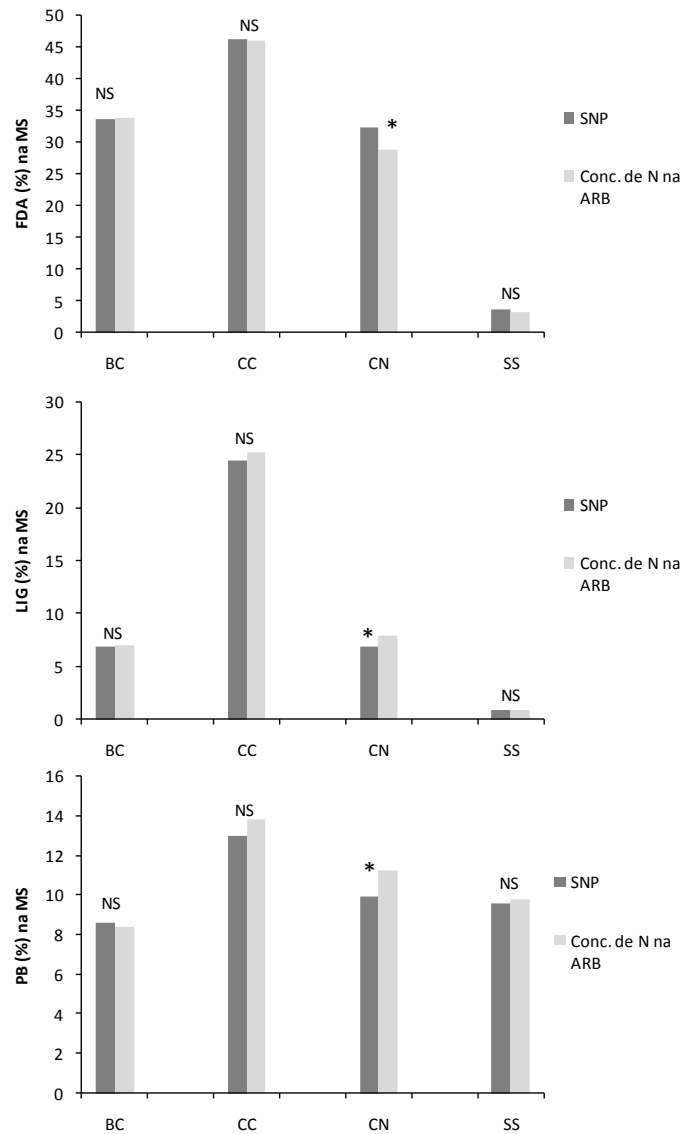


Figura 8. Efeito das diferentes soluções (SNP e concentração de N na ARB) e substratos orgânicos sobre os teores de PB, FDA e lignina da forragem verde hidropônica de milho (FVHM) * $p < 0,05$ NS= não significativo para o teste de F.

Teores proteicos mais elevados para os tratamentos que receberam a ARB podem estar relacionados às diferentes concentrações de N dessa solução, onde a média do teor de N presente na ARB foi de $111,45 \text{ mg L}^{-1}$, valor esse superior ao teor de N da SNP ($109,51 \text{ mg L}^{-1}$ de N). Segundo VIANA et al. (2011) gramíneas tropicais apresentam elevado potencial de resposta à adubação nitrogenada.

Os tratamentos que receberam a SNP apresentaram valores de FDA superiores aos que receberam a ARB. A fração da fibra indigerível em detergente ácido é composta de menor

proporção de celulose e maior proporção de lignina (GOULART, 2010). A presença da uréia possivelmente promoveu um decréscimo da concentração de celulose, fazendo com que os valores de lignina se apresentassem superiores. Tal comportamento também foi observado por TONUCCI (2006), quando trabalhou com amonização do feno de tifton utilizando uréia.

Com base nos resultados obtidos por meio da análise do valor nutritivo e pelo estudo da digestibilidade *in vitro* da matéria seca das forragens produzidas com sementes de milho em substratos orgânicos, utilizando água residuária de bovino enriquecida ou não com N, verifica-se que os substratos capim elefante cv napier e o bagaço de cana-de-açúcar apresentaram melhores características para uma forragem de boa qualidade, enquanto que a casca de café, mesmo possuindo alguns atributos positivos, como alto teor protéico, apresenta restrições pela presença de altos níveis de fatores anti-nutricionais como a lignina. Com relação à água residuária de bovino, esta se comportou de maneira satisfatória, podendo ser indicada na produção de forragem hidropônica de milho, sem a necessidade de enriquecimento com N.

Conclusões

1 – Os substratos afetam o valor nutritivo da forragem verde hidropônica de milho (FVHM) em todos os componentes analisados (PB, FDN, FDA, lignina e DIVMS), tendo a forragem produzida com os substratos bagaço de cana-de-açúcar (BC) e capim napier (CN) apresentado melhores características para produção de uma forragem de boa qualidade nutricional.

2- Apenas no substrato capim napier (CN) foi observada diferença entre as soluções nutritivas (SNP x concentrações de N na ARB), onde ARB promoveu um incremento no teor proteico e redução no teor de lignina da FVHM.

3- A digestibilidade da FVHM produzida nos substratos BC, CN e CC apresentou valores superiores aos encontrados nos mesmos substratos antes do cultivo, ocorrendo melhora de 53,8%, 43,2% e 71,3% respectivamente.

4- A FVHM produzida no substrato CC apresenta valores elevados de PB, o que no entanto, este fato não a credencia como uma forragem de boa qualidade, em razão de seus baixos valores de DIVMS e altos teores de FDA e lignina.

Referências Bibliográficas

- AMORIM A.C., RESENDE K.T., MEDEIROS A.N., RIBEIRO S.D., ARAÚJO J.A.C. Composição bromatológica e degradabilidade *in situ* da planta de milho. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Zootecnia Tropical, 23(2):105-119, 2005.
- CAMPÊLO J.E.G., OLIVEIRA J.C.G., ROCHA A.S., CARVALHO J.F., MOURA G.C., OLIVEIRA M.E., SILVA J.A.L., MOURA J.W.S., COSTA V.M., UCHOA L.M. Forragem de milho hidropônico produzida com diferentes substratos, Revista Brasileira de Zootecnia, 36(2):276-281, 2007.
- DUPAS E. Produtividade de massa seca e atributos de valor nutritivo do capim-Marandu relacionados à adubação nitrogenada e irrigação no cerrado paulista. Dissertação Mestrado, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP, 42p, 2008.
- FAHMY S.T.M., KLOPFENSTEIN T.J. Treatment with different chemicals and their effects on the digestibility of maize stalks 2- intake and *in vitro* digestibility as affected by the chemical treatment and monensin supplementation. Animal Feed Science and Technology, 45(3/4):309-316, 2004.
- FERMINO M.H. Métodos de análise para caracterização física de substratos para plantas. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 89p, 2003.
- FLÔRES M.T.D. Efeito da densidade de semeadura e da idade de colheita na produtividade e na composição bromatológica de milho (*Zea mays* L.). Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 79 p, 2009.
- FUZETO A.P. Determinação do teor de lignina em amostras vegetais através de três métodos analíticos e correlações com digestibilidade *in vitro*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo – USP, 73p, 2003.
- GESUALDI A.C.L.S., SILVA J.F.C., VASQUEZ H.M., ERBESDOBLER E.D. Efeito da Amonização sobre a Composição, a Retenção de Nitrogênio e a Conservação do Bagaço e da Ponta de Cana de açúcar. Revista Brasileira de Zootecnia, 30(2):508-517, 2001.
- GOULART R.S. Avaliação da fibra fisicamente efetiva em rações para bovinos de corte. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 200p, 2010.
- HINDRICHSEN I.K., KREUZER M., MADSEN J., KNUDSEN K.E.B. Fiber and Lignin Analysis in Concentrate, Forage, and Feces: Detergent Versus Enzymatic-Chemical Method. Journal of Dairy Science, 89(6):2168–2176, 2006.
- HOLDEN L.A. Comparison of methods of *in vitro* dry matter digestibility for tem feeds. Journal Dairy Science, Savoy, 82:1791-1794, 1999.
- LEAL M., SHIMADA A., HERNANDEZ E. The effect of NH₃ and or SO₂ on the composition and histological characteristics of sorghum stover. Animal Feed Science and Technology, 47(1/2):141-150, 1994.
- LIMA J.D., MORAES W.S., MENDONÇA J.C., NOMURA E.S. Resíduos da agroindústria de chá preto como substrato para produção de mudas de hortaliças. Ciência Rural, v.37, p.1609-1613, 2007.

- MACEDO C.H.O., ANDRADE A.P., SANTOS E.M., SILVA D.S., SILVA T.C., EDVAN R.L. Perfil fermentativo e composição bromatológica de silagens de sorgo em função da adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, Salvador, 13(2):371-382, 2012.
- MERTENS D.R. Physical effective NDF and its use in formulating dairy rations. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM BOVINOS DE LEITE, 2., 2001, Lavras. *Anais...* Lavras:UFLA-FAEPE, 2001.p.25-36, 2001.
- MÜLLER L., SANTOS O.S., MANFRON P.A., MEDEIROS S.L.P., HAUT V., NETO D.D., MENEZES N.L., GARCIA D.C. Forragem hidropônica de milho: produção e qualidade nutricional em diferentes densidades de semeadura e idades de colheita. *Ciência Rural*, Santa Maria, 36(4):1094-1099, 2006.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC Nutrient requirements of dairy cattle. 7ª ed. Washington, National Academic Press. 381p, 2001.
- NEVES A.L.A. Cultivo de milho hidropônico para alimentação animal. Viçosa: CPT, 242p, 2009.
- NICOLA M.C. Cultivo hidropônico da alface utilizando soluções nutritivas orgânicas. Dissertação Mestrado, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Pelotas, RS. Brasil. 62 p, 2002.
- OLIVEIRA M.A., PEREIRA O.G., RIBEIRO K.G., SANTOS M.E.R., CHIZZOTTI F.H.M., CECON P.R. Produção e valor nutritivo do capim-*coastcross* sob doses de nitrogênio e idades de rebrotação. *Arquivo Brasileiro Medicina Veterinária e Zootecnia*, 63(3): 694-703, 2011.
- PEREIRA R.C., BANYS V.L., COSTA R.G. MANOEL E.A.O. Produção de milho fertirrigado em diferentes tipos de substratos. In: 40 Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Santa Maria. *Anais*, SBZ.CD-ROM, 2003.
- REIS R.A., RODRIGUES L.R.A., RESENDE K.T. Avaliação de fontes de amônia para o tratamento de feno de gramíneas tropicais. Constituintes da parede celular, poder tampão e atividade ureática. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(3):674-681, 2005.
- ROVERSI T. Efeito do condicionamento fisiológico sobre o desempenho de sementes para produção de forragem hidropônica. Tese Doutorado – Santa Maria – RS, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 113p, 2004.
- SAEG Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes – UFV – Viçosa, 2007.
- SILVA D.J., QUEIROZ A.C. Análises de alimentos: métodos químicos e biológicos. 3ª ed. Viçosa. Editora UFV, 235p, 2009.
- SILVA, A.T., ORSKOV, E.R. Fiber degradation in the rumens of animals receiving hay, untreated and ammonia-treated straw. *Animal Feed Science and Technology*, v.19, n. 3, p. 277-287, 1988.
- SOARES A.B. Efeito da oferta de matéria seca de uma pastagem natural sobre a produção animal e a dinâmica da vegetação. Tese Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 180p, 2002.
- TILLEY J.M.A., TERRY R.A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Journal. British Grass. Soc.*, 18:104-111, 1963.
- TONUCCI R.G. Valor nutritivo do feno de capim-Tifton 85 amonizado com uréia Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa – UFV –Viçosa. 41p, 2006.

VAN SOEST P. J. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press, New York, 2^a ed. 476 p, 1994.

VIANA M.C.M., FREIRE F.M., FERREIRA J.J. Adubação nitrogenada na produção e composição química do capim-brachiária sob pastejo rotacionado. Revista Brasileira de Zootecnia, 40(7):1497-1503, 2011.

WEISS W.P. Estimation of digestibility of forages by laboratory methods. In: FAHEY JR., G.C. (Eds.) Forage quality, evaluation, and utilization. Madison: American Society of Agronomy. p.644-681, 1994.

4. RESUMOS E CONCLUSÕES

A produção de forragem hidropônica é uma técnica que deve visar a competitividade, a eficácia e a sustentabilidade. O presente trabalho teve como objetivo, num primeiro momento avaliar a produção e, posteriormente, o valor nutritivo e a digestibilidade *in vitro* da forragem verde hidropônica de milho produzida em diferentes substratos orgânicos, aplicando soluções nutritivas preparadas com diferentes concentrações de nitrogênio na água residuária de bovino (ARB). O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes) - Campus de Alegre. O experimento seguiu a um arranjo fatorial (4 x 5) + 4, cujos fatores e níveis foram: quatro substratos orgânicos [bagaço de cana de açúcar (*Saccharum* sp.) - (BC); casca de café conilon (*Coffea canephora*) - (CC); capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum cv Napier) - (CN) e; sem substrato - (SS)], cinco soluções de água residuária de bovino (ARB) acrescida de (0%, 25%, 50%, 75% e 100% do nitrogênio da solução nutritiva padrão utilizada para produção de milho hidropônico – SNP), mais quatro tratamentos adicionais com SNP para milho em cada substrato orgânico. A ARB

era constituída de dejetos de bovinos (fezes e urina), do descarte de leite proveniente do teste de mamite, da água de desinfecção de ordenhadeira mecânica, da água de limpeza das instalações, do derrame de bebedouros e dos restos de alimentação. O experimento foi conduzido durante 15 dias, findo o quais as plantas foram colhidas para a avaliação de sua produção, análise da composição nutricional e digestibilidade *in vitro*. No primeiro trabalho foram avaliadas as produções de matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da base (MSBA) e matéria seca da planta toda (MSPT). No segundo trabalho foram avaliadas a composição nutricional (proteína bruta-PB, fibra em detergente neutro-FDN, fibra em detergente ácido-FDA e lignina) e a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), de toda a forragem produzida (raiz + sementes não germinadas + parte aérea da planta). No primeiro trabalho concluiu-se que a água residuária de bovino (ARB) pode ser utilizada em substituição à solução nutritiva padrão (SNP) na produção da forragem verde hidropônica de milho. Concluiu-se ainda que o enriquecimento da ARB com nitrogênio não promoveu um incremento significativo na produção de matéria seca da forragem verde hidropônica de milho, e que existe diferença entre os substratos utilizados, tendo o capim elefante (CN) e o bagaço de cana (BC) apresentado melhores desempenhos no desenvolvimento da parte aérea da forragem verde hidropônica de milho, onde o incremento na produção de MSPA nos substratos BC e CN foi, respectivamente, de 85,6% e 66,6%, em relação ao SS, e de 86,6% e 69,8%, em relação ao CC. No segundo trabalho concluiu-se que o substrato afeta o valor nutritivo das forragens para todos os componentes analisados (PB, FDN, FDA, lignina e DIVMS), tendo a forragem produzida nos substratos BC e CN apresentado as melhores características para forragem de boa qualidade. Apenas no substrato CN foi observada diferença entre as soluções nutritivas (SNP x concentrações de N na ARB), onde a ARB promoveu um incremento no teor proteico e redução no teor de lignina da FVHM. Os resultados obtidos nos trabalhos indicam o potencial de utilização da ARB e dos substratos BC e CN na produção de uma forragem de boa qualidade nutricional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu Junior, C. H, Boaretto, A.E, Muraoka T, Kiehl, J. C. (2005) *Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluente: propriedades químicas do solo e produção vegetal*. Tópicos em Ciência do Solo. v.4. Viçosa:SBCS, p.391-479.
- Abreu, M. F.; Abreu, C. A.; Bataglia, O. C. (2002) Uso da análise química na avaliação da qualidade de substratos e componentes. *Anais do Encontro Nacional sobre Substratos para Plantas*, 3, Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, p. 17-28.
- AGENDA 21. Proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos. <http://www.mma.gov.br>. Acesso em outubro de 2011.
- Alberoni, R. B. (1998) *Hidroponia: como instalar e manejar o plantio de hortaliças dispensando o uso do solo – alface, rabanete, rúcula, almeirão, chicória, agrião*. São Paulo: Nobel, 102p.
- Amorim A.C., Resende K.T., Medeiros A.N., Ribeiro S.D., Araújo J.A.C. (2005) Composição bromatológica e degradabilidade in situ da planta de milho. *Zootecnia Tropical*, 23 (2):105-119.
- Andrade Neto, C.O. Melo Filho C.P., Moura L.R.B., Miranda, R.J.A., Pereira, M.G., Melo H.M.S., Lucas Filho, M. (2002) *Hidroponia com Esgoto Tratado –*

Ferragem Hidropônica de Milho, *Anais do Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 6, Vitória: ABES, p.1-8.

- Andriguetto, J.M. (2005) *Nutrição Animal*. v.2. São Paulo: Nobel, 425p.
- Araujo, A.G., Pasqual, M.; Dutra, L.F.I., Carvalho, J.G., Soares, G.A. (2007) Substratos alternativos ao xaxim e adubação de plantas de orquídea na fase de aclimatização. *Ciência Rural*, 37:569-571.
- Araújo, V. S., Coelho, F.C., Cunha, R. C. V., Lombardi, C. T. (2008) Ferragem hidropônica de milho cultivado em bagaço de cana e vinhoto. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 7(3):251-264.
- Balieiro G., J.J. Ferreira, A.C. Viana, M.M. Resende e J.C. Cruz.(2000) Produção de ferragem hidropônica de milho com diferentes substratos. *Anais da Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 37, Viçosa: SBZ, CD ROM.
- Barcelos, A.F.; Andrade, I.F.; Von Tiesenhausen, I.M.E.V. (1997) Aproveitamento da casca de café na alimentação de novilhos confinados – resultados do segundo ano. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 26 (6):1215-1221.
- Barcelos, A.F.; Sette, R.S.; Andrade, I.F. (1995) Aproveitamento da casca de café na alimentação de vacas em lactação. *Circular Técnica*, 46 (6):1-4.
- Bardhan, S., Watson, M., Dick, W. A. (2008) Plant growth response in experimental soilless mixes prepared from coal combustion products and organic waste materials. *Soil Science*, Baltimore, 173 (7):489-500.
- Bianchini W., Rodrigues, É., André Mendes Jorge, A.M., Cristiana Andrigheto C. (2007) Importância da fibra na nutrição de bovinos. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 8 (2):1-14.
- Boaretto, A. E. (2008) Principais diferenças entre a hidroponia e o cultivo no solo, Universidade de São Paulo – USP- Centro de Energia Nuclear na Agricultura.
- Bosa, N; Calvete, E.O; Klein, V. A. (2003) Development of young plants of gypsophila in different substrates. *Horticultura Brasileira*. 21 (3):514-519.
- Braile, P. M., Cavalcanti, J. E. W. A. (1993) Manual de tratamento de águas residuárias. São Paulo: CETESB, 764p.
- Burgi, R. (1985) *Produção de bagaço de cana-de-açúcar auto-hidrolisado e avaliação do seu valor nutritivo para ruminantes*. Tese (Mestrado em Agronomia) - Piracicaba-SP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queirós” - ESALQ, 61p.
- Campêlo, J.E.G. (2007) Ferragem de milho hidropônico produzida com diferentes substratos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36 (2):276-281.

- Campos, A. T. (1997) *Análise da viabilidade da reciclagem de dejetos de bovinos com tratamento biológico, em sistema intensivo de produção de leite*. Tese (Doutorado em Agronomia) - Botucatu-SP, Universidade Estadual Paulista – USP, 141p.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (1999) *Aplicação de biossólidos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação*. Norma P 4230. São Paulo.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2012) *Acompanhamento da safra brasileira de café safra terceira estimativa*. Brasília, 2012. 19p.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005) *Resolução n. 357*. Brasília.
- Consentino J.A.S & Souza J.L.G. (2007) - *Uso da palha de cana-de-açúcar para fins não energéticos*. <http://www.ecocana.org/index.php?p=3>. Acesso em agosto de 2011.
- Conte, M.L., Leopoldo, P.R. (2001) *Avaliação de Recursos Hídricos: Rio Pardo, um exemplo*. São Paulo: Editora UNESP, 144 p.
- Dias M., Leão M.I., Detmann E., Valadares Filho S.C., Vasconcelos A.M., Souza S.M, Paulino M.F., Murça T.B. (2008) *Técnicas para estimativa da digestibilidade e produção microbiana em bovinos*. *Revista Brasileira de Zootecnia*. (37) 3:504-512.
- Esteves, F. A. (1988) *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência, 575p.
- FAO - Organización de Las Naciones Unidas para La Agricultura y La Alimentación. (2006) *Manual técnico forraje verde hidropónico*. Santiago, Chile, v.1, 73p.
- Fermino, M.H. (2003). *Métodos de análise para caracterização física de substratos para plantas*. Tese (Doutorado em Agronomia) - Porto Alegre – RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 89p.
- Henriques, E.R. (2000) *Manual de produção – forragem hidropônica de milho*. Uberaba: FAZU, 15p.
- Holden, L.A. (1999) *Comparison of methods of in vitro dry matter digestibility for ten feeds*. *Journal Dairy Science*, 82:1791-1794.
- Isepon, O.J. (2002) *Produção e composição bromatológica de milho, sorgo e milheto, em diferentes densidades de semeadura*. *Anais da Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 39, Recife: SBZ.
- King, S.R.; Ambika, R. (2002) *Allelopathic plants Chromolaena odorata (L.)*. *Allelopathy Journal*, 9: 35-4.

- Lavres, J.J. (2001) *Combinações de doses de nitrogênio e potássio para o capim-mombaça*. Tese (Mestrado em Agronomia) – Piracicaba – SP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”-ESALQ, 103p.
- Lima, J.D.; Moraes, W.S.; Mendonça, J.C.; Nomura, E.S. (2007) Resíduos da agroindústria de chá preto como substrato para produção de mudas de hortaliças. *Ciência Rural*, 37:1609-1613.
- Lima, M.L.M. (2003) *Análise comparativa da efetividade da fibra de volumosos e subprodutos*. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagem) – Piracicaba – SP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- ESALQ, 118p.
- Liz, R.S. (2006) *Análises físicas e químicas de substrato de coco verde para a produção de mudas de hortaliças*. Tese (Mestrado em Agronomia) – Brasília – DF, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – UnB, 69p.
- Liziany, M., Santos, O.S. dos, Mafron, P.A., Medeiros, S.L.P., Haut, V., Dourado Neto, D., Menezes N.L.D., Garcia D.C. (2006) Forragem hidropônica de milho: produção e qualidade nutricional em diferentes densidades de semeadura e idades de colheita. *Ciência Rural*, 36 (4), p.1094-1099.
- Macêdo, J.A.B. (2001) *Águas & águas*. São Paulo: Varela. 505p.
- Malavolta, E. (1980) *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres. Cap. 6: Os elementos minerais. p. 114-140.
- Martinez, H.E.P. e Silva Filho, J.B. (2006) *Introdução ao cultivo hidropônico de plantas*. 3. ed. Viçosa: UFV, 111p.
- Matos, A.T. (2005) *Tratamento de resíduos agroindustriais*. In: Curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais. Fundação Estadual do Meio Ambiente, Universidade Federal de Viçosa. 34p.
- Maynard, L. A., Loosli, J.K., Hintz, H.F., Warner, R.G. (1984) *Nutrição Animal*. Rio de Janeiro: Freitas Bastos. 1984. 726 p.
- Medeiros, L.M. (2006) *Produção e composição bromatológica de forragem hidropônica de trigo*. Tese (Mestrado em Zootecnia) - Santa Maria - RS, Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, 110p.
- Mertens D.R. (1992) Nonstructural and structural carbohydrates. In: Van Horn, H.H., Wilcox, C.J. (eds.) *Large dairy herd management*. Champaign: American Dairy Science Association, p.219–235
- Mertens, D. (1996) Formulation Dairy Rations: using fiber and carbohydrate analyses to formulate dairy rations. In: *Proceedings of Information Conference with Dairy and Forage Industries*, Wisconsin: U.S. Dairy Forage and Research Center, p. 81-92.

- Meurer, F.M.; Barbosa, C.; Zonetti, P.C.; Munhoz, R.E.F. (2008) Avaliação do uso de bagaço de cana-de-açúcar como substrato no cultivo de mudas de orquídeas. *Revista de Saúde e Biologia*, 3:45-50.
- Minson, D. J. (1990) *Forrage in ruminat nutrition*. San Diego: Academic Press, 483p.
- Neves, A.L.A. (2009) *Cultivo de milho hidropônico para alimentação animal*. Viçosa: CPT, 242p.
- Nicola, M.C. (2002) *Cultivo hidropônico da alface utilizando soluções nutritivas orgânicas*. Tese (Mestrado em Agronomia) – Pelotas – RS, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, 62p.
- Nussio, L.G., Campos, F.P., Lima, M.L.M. (2006) Metabolismo de carboidratos estruturais. In: Berchielli, T.T.; Pieres, A.V.; Oliveira, S.G. *Nutrição de ruminantes*. Jaboticabal: Funep, p.183-228.
- Oliveira, A.L., Isepon, O.J., Buzetti, S. (2001) Produção de milho pelo sistema de hidroponia. In: *Anais da Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 38, Piracicaba: SBZ.
- Oron, B.G.; Demalach, J.; Hoffman, Z.; Manor, Y. (1991) Effluent reuse by trickle irrigation. *Water Science Technology*, 24 (9):103-8.
- Osburn, R.C. e Burkhead, C.E. (1992) Irrigating vegetables with wastewater. *Water Enviroment & Technology*, 4:38-43.
- Paciullo, D.S.C.; Deresz, F.; Lopes F.C.F.; Aroeira, L.J.M.; Morenz, M.J.F.; Verneque, R.S. (2008) Disponibilidade de matéria seca, composição química e consumo de forragem em pastagem de capim-elefante nas estações do ano. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 60 (4): 904:910.
- Pandey, A.; Soccol, C.R.; Nigam, O.; Brand, D.; Mohan, R.; Roussos, S. (2000) Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. *Biochemical Engineering Journal*, 6:153-162.
- Patemiani, J.E.S., Pinto, J.M. (2001) Qualidade da água. In: Miranda, J. H.; Pires, R.C.C. *Irrigação*. Piracicaba: FUNEP/SBEA, p.195-253.
- Paulino V.T. (2004) Crescimento e avaliação químico-bromatológica de milho cultivado em condições hidropônicas. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, (5), n.p.
- Pelizer, L.H.; Pontieri, M.H.; Moraes, I.O. (2007) Utilização de resíduos agro-industriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. *Journal of Technology Management and Innovation*, 2:118-127.
- Pereira R.C., V.L. Banys, R.G. Costa e Manoel A.O. (2003) *Produção de milho fertirrigado em diferentes tipos de substratos*. *Anais da Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 40, Santa Maria: SBZ. CD-ROM.

- Pereira, E.(2006) *Qualidade da água residuária em sistemas de produção e de tratamento de efluentes de suínos e seu reuso no ambiente agrícola*. Tese (Doutorado em Agronomia) – Piracicaba – SP - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, 129p.
- Perez, J.R.O. (1997) Sistemas para a estimativa de digestibilidade in vitro. *Anais do Simpósio Internacional de Digestibilidade em Ruminantes*, Lavras: UFLA/FAPE, p. 55 - 68.
- Pilau F.G., A.C. Bonnacarrère, D. Schmidt, P.A. Manfron, O.S. Santos, S.L.P. Medeiros D. (2004) Produção hidropônica de forragem em túnel plástico. *Revista Norte*, 7:111-119.
- Raij, B.V.; Gheyi, H.R.; Bataglia, O.C. (2001) Determinação da condutividade elétrica e cátions solúveis em extratos aquosos de solos. *In: Raij, B.V., Andrade, J.C.de, Cantarella, H., Quaggio, J.A. (eds.) Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, p.277-284.
- Rego Filho, J.G.N.; Oliveira, J.C.G.; Campelo, J.E.G. (2003) Efeito da densidade de cultivo e tipo de substrato na produtividade de forragem de milho hidropônico. *Anais da Reunião de Pesquisa do Centro de Ciências Agrárias*, 6, Teresina: CCA/UFPI, p.371-376.
- Resh, H. (1997) *Hydroponic food productions*. 5. ed. California: Woodbridge Press Publishing Company. 527p.
- Rodrigues, A.D., Rosa, B.L., Ezequiel, J.M.B. (2009) Utilização da casca de café (*Coffea arabica* L.) na alimentação animal. *Anais da Zootec*, Águas de Lindóia, FZEA/USP-ABZ, p.1-3.
- Rosa, S.D.V.F.; Santos, C.G.; Paiva, R.; Melo, P.L.Q.; Veiga, A.D.; Veiga, A.D. (2006) Inibição do desenvolvimento *in vitro* de embriões de *Coffea* por cafeína exógena. *Revista Brasileira de Sementes*, 28:177-184.
- Santos, N.A., Soares, T.M., Silva, E.F., Silva, D.J.R., Montenegro, A.A.A. (2010) Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14:961-969.
- Santos, O.S. (2004) Produção de forragem hidropônica de cevada e milho e seu uso na alimentação de cordeiros. Santa Maria: UFSM/CCR, Informe Técnico, 8p.
- Silva D.J., Queiroz, A.C. (2004) *Análises de alimentos: métodos químicos e biológicos*. 3.ed. Viçosa: UFV, 235p.
- Sniffen, C.J., O' Connor, J.D., Van Soest, P.J. et al. (1992) A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal Animal Science*, 70 (12):3562-3577.

- Soares, A.B. (2002) *Efeito da oferta de matéria seca de uma pastagem natural sobre a produção animal e a dinâmica da vegetação*. Tese (Doutorado em Agronomia) - Porto Alegre – RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 180p.
- Spier, M. (2008) *Ajuste de metodologias para análise física de substratos e teste do resíduo de cana-de-açúcar para o cultivo de plantas*. Tese (Mestrado em Agronomia) - Porto Alegre – RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRS, 102p.
- Teixeira, N.T. (1996) *Hidroponia: uma alternativa para pequenas áreas*. Guaíba: Agropecuária, 86p.
- Teixeira, F. A., Pires, A.V., Nascimento, P.V.N. (2007) Bagaço de cana-de-açúcar na alimentação de bovinos. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 8 (6): 1-9.
- Van Soest, P.J. (1994) *Nutritional ecology of the ruminant*. Ithaca: Cornell University Press, 476p.
- Vasquez-Montiel, O.; Horan, N. J.; Mara, D. D. (1996) Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. *Water Science Technology*, 33 (10-11): 355-362.
- Vegro, C.L.R.; Carvalho, F.C. (1994) Disponibilidade e utilização de resíduos gerados no processamento agroindustrial do café. *Informações Econômicas*, 24 (1): 9-16.
- Von Sperling, M. (1998) *Tratamento e destinação de efluentes líquidos da agroindústria*. Brasília: ABEAS/UFV/DEA, 88p.
- Weiss, W.P. (1994) Estimation of digestibility of forages by laboratory methods. In: Fahey Jr., G.C. (ed.) *Forage quality, evaluation, and utilization*. Madison: American Society of Agronomy. p.644-681.
- Werner, J.C. (1994) Adubação de pastagens de *Brachiaria* spp. *Anais do Simpósio sobre Manejo da Pastagem*, 11, Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, p. 209-222.
- Wolters, G.M.V.H., e Boerekamp, J.A.M. (1994) Reduction of wastewater from cleaning of milking equipment. In: International Dairy Housing Conference, Orlando, American Society of Agricultural Engineers, p.700-3.
- Yamamoto, L.Y.; Sorace, M.; Faria, R.T.; Takahashi, L.S.; Schnitzer, J.A. (2009) Substratos alternativos ao xaxim no cultivo do híbrido primário *Miltonia regnellii* Rchb. f. x *Oncidium concolor* Hook. (Orchidaceae). *Semina: Ciências Agrárias*, 30:1035-1042.

