

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Sistemas de
Produção Agrícola Familiar



Dissertação

Seleção de genótipos de cana-de-açúcar para produção de etanol e silagem

Lucas Silva Lemões

Pelotas, 2018

Lucas Silva Lemões

Seleção de genótipos de cana-de-açúcar para produção de etanol e silagem

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Sergio Delmar dos Anjos e Silva

Coorientador: Carlos Eduardo da Silva Pedroso

Pelotas, 2018.

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

L544s Lemões, Lucas Silva

Seleção de genótipos de cana-de-açúcar para produção de etanol e silagem / Lucas Silva Lemões ; Sergio Delmar dos Anjos e Silva, orientador ; Carlos Eduardo da Silva Pedroso, coorientador. — Pelotas, 2018.

72 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2018.

1. Saccharum spp. 2. Silagem. 3. Forragem. 4. Biomassa lignocelulósica. I. Silva, Sergio Delmar dos Anjos e, orient. II. Pedroso, Carlos Eduardo da Silva, coorient. III. Título.

CDD : 633.61

Lucas Silva Lemões

Seleção genótipos de cana-de-açúcar para produção de etanol e silagem

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da Universidade Federal de Pelotas, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel.

Data da Defesa: 27 de fevereiro de 2018

Banca examinadora:



.....
Dr. Sérgio Delmar dos Anjos e Silva (Orientador)
Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.



.....
Prof. Dr. Ricardo Augusto de Oliveira
Doutor em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Paraná.



.....
Dr. Mario Alvaro Aloisio Verissimo
Doutor em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Paraná.



.....
Prof. Dr. Carlos Henrique Silveira Rabelo
Doutor em Produção Animal pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho



.....
Dr. Cândida Raquel Scherrer Montero
Doutora em Fitotecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

A todos que não mediram esforços para que este trabalho acontecesse.

DEDICO

Agradecimentos

Aos meus pais, Jorge e Maria Eulália, pelo amor incondicional e pelo apoio em todas as fases da minha vida. À vó Jozephina, minha segunda mãe.

Aos meus irmãos Davi e Juliana, em especial à Ju por toda a ajuda durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus dindos, Sérgio e Claudia, que sempre me inspiraram e orientaram profissionalmente.

Aos colegas do Grupo de Agroenergia da Embrapa Clima Temperado pela colaboração na realização deste trabalho e pela amizade.

À Luize pelo apoio e dedicação em todas as etapas do desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Carlos Eduardo da Silva Pedroso, pela co-orientação durante a execução deste trabalho.

Ao Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar da Universidade Federal do Paraná (PMGCA/UFPR/RIDESA), pela cooperação e disponibilidade de materiais para os ensaios.

Ao Pesquisador da Embrapa Gado e Leite, Jailton Carneiro, pela realização das análises de digestibilidade da silagem.

Ao Laboratório de Análise de Combustíveis da UFRGS, em especial, à Prof. Maria do Carmo Ruaro Peralba pela realização das análises cromatográficas.

Ao Laboratório de Bromatologia e Nutrição Animal da Embrapa Clima Temperado.

À Embrapa Clima Temperado por todo o apoio durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Sistema de Produção Agrícola Familiar.

Resumo

LEMÕES, Lucas Silva. **Seleção de genótipos de cana-de-açúcar para produção de etanol e silagem**. 2018. 72f. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

A cana-de-açúcar é uma espécie que possui elevado potencial de produção de matéria seca e energia por unidade de área, em um único corte, apresentando múltiplas formas de utilização, como geração de energia na forma etanol e produção de alimento para animais. O objetivo do presente trabalho foi avaliar e caracterizar genótipos de cana-de-açúcar visando à utilização na alimentação animal e produção de etanol. Foram avaliados 25 genótipos de cana-de-açúcar no campo experimental da Embrapa Clima Temperado. Para produção de silagem, foram utilizados seis genótipos e dois inoculantes comerciais. As variáveis avaliadas para produtividade de biomassa dos genótipos foram: tonelada de massa fresca por hectare (TMFH), tonelada de massa seca por hectare (TMSH), tonelada de sólidos solúveis totais por hectare (TSSTH) e toneladas de colmos por hectare (TCH). Para determinação da composição químico-bromatológica foram avaliados: matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose (CEL), hemicelulose (HEM), lignina (LIG), teor de sólidos solúveis totais (SST) e cinzas (CZ). Além destas variáveis utilizou-se a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), perdas de matéria seca (PMS) e potencial hidrogeniônico (pH), para complementar as avaliações da silagem. Foi estimado o rendimento teórico de etanol de primeira geração (1G) com base em SST, enquanto que o etanol de 2ª geração (2G) foi calculado com base nos teores de celulose (ECEL) e hemicelulose (EHEMI), ambos ponderados pelo rendimento de colmos (TCH) e de biomassa (TMSH), respectivamente. O rendimento final de etanol por hectare foi dado pela soma de 1G e 2G. De acordo com os critérios de avaliação, destacaram-se para alimentação animal os genótipos RB106814, RB106818 e RB106819. Para o estudo da silagem, de modo geral os inoculantes utilizados não proporcionaram ganhos expressivos em qualidade. Para etanol de segunda geração os genótipos que apresentaram os melhores rendimentos teóricos foram RB106819, RB106818, PRBIO353, PRBIO537 e PRBIO435. Os genótipos RB106819 e RB106818 possuem elevado rendimento, com aptidão para a alimentação animal e para produção de etanol de segunda geração.

Palavras-chave: *Saccharum* spp.; silagem; forragem; biomassa lignocelulósica

Abstract

LEMÕES, Lucas Silva. **Selection of sugarcane genotypes for ethanol and silage production.** 2018. 72f. Dissertation (Master Degree em Agronomia - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018).

Sugarcane is a species that has a high potential of dry matter and energy production per area unit in a single cut, presenting multiple uses, such as ethanol generation and feed production. The objective of this work was to evaluate and characterize sugarcane genotypes for use in animal feed and ethanol production. Twenty-five sugarcane genotypes were evaluated in the experimental field of Embrapa Clima Temperado. For silage production six genotypes and two commercial inoculants were used. The variables evaluated for biomass productivity of the genotypes were: tons of fresh mass per hectare (TMFH), tons of dry mass per hectare (TMSH), tons of total soluble solids per hectare (TSSTH) and tons of stalks per hectare (TCH). To determine chemical-bromatological composition the following analysis were performed: dry matter (MS), crude protein (PB), neutral detergent fiber (FDN), acid detergent fiber (FDA), cellulose (CEL), hemicellulose (HEM), lignin (LIG), total soluble solids content (SST) and ash (CZ). In addition to these variables, *in vitro* digestibility of dry matter (DIVMS), dry matter losses (PMS) and potential of hydrogen (pH) were used to complement the silage evaluation. The theoretical yield of first generation ethanol (1G) was estimated based on SST, while second generation ethanol (2G) was calculated on the basis of cellulose (ECEL) and hemicellulose (EHEMI) contents, both weighted by stalk yield (TCH) and biomass (TMSH), respectively. The final yield of ethanol per hectare was given by the sum of 1G and 2G. According to the evaluation criteria, the genotypes RB106814, RB106818 and RB106819 stood out for animal feeding. In general the inoculants used for the study of silage did not present expressive gains in quality. For second generation ethanol the genotypes that presented the best theoretical yields were RB106819, RB106818, PRBIO353, PRBIO537 and PRBIO435. Genotypes RB106819 and RB106818 have high yields, suitable for animal feed and production of second generation ethanol as well.

Keywords: *Saccharum* spp.; silage; forage; lignocelulosic biomass

Lista de Figuras

Figura 1 - Composição da parede celular vegetal	15
Figura 2 - Esquema de produção de etanol de segunda geração.....	16
Figura 3 - Representação da desconstrução da biomassa lignocelulósica através de processo de pré-tratamento.	16

Lista de Tabelas

- Tabela 1 - Produtividade de genótipos RB de cana-de-açúcar em toneladas de matéria fresca por hectare (TMFH), toneladas de matéria seca por hectare (TMSH), toneladas de colmos por hectare (TCH) e toneladas de sólidos solúveis totais por hectare (TSSTH).27
- Tabela 2 – Produtividade de genótipos PRBIO de cana-de-açúcar em toneladas de matéria fresca por hectare (TMFH), toneladas de matéria seca por hectare (TMSH), toneladas de colmos por hectare (TCH) e toneladas de sólidos solúveis totais por hectare (TSSTH).28
- Tabela 3 - Caracterização de genótipos de cana-de-açúcar quanto a teores de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), hemicelulose (HEMI), celulose (CEL), lignina (LIG), sólidos solúveis totais (SST), relação FDN/SST e matéria seca (MS).32
- Tabela 4- Rendimento teórico de etanol de segunda geração a partir da fração hemicelulósica (EHEMI), celulósica (ECEL), total de segunda geração (2G), de primeira geração (1G) e total de primeira e segunda geração de genótipos de cana-de-açúcar.....35
- Tabela 5 - Genótipos de cana-de-açúcar e seus teores de fibra em detergente neutro (FDN), relação FDN/Brix, teor de lignina (LIG) e produtividade em toneladas de matéria seca por hectare (TMSH).....36
- Tabela 6 – Caracterização de genótipos de cana-de-açúcar quanto aos teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose (CEL), hemicelulose (HEMI), lignina (LIG), sílica (SIL) cinzas (CZ) e sólidos solúveis totais (SST) antes do processo de silagem.44
- Tabela 7 – Genótipos de cana-de-açúcar e seus teores de potencial hidrogeniônico (pH), sólidos solúveis totais (SST) e percentual de etanol na matéria seca, em silagens com inoculantes e sem inoculantes.47

Tabela 8 - Teores de matéria seca (MS), digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca (DIVMS) e perdas de matéria seca (Perda MS) para silagens de genótipos de cana-de-açúcar com inoculantes e sem inoculantes.	50
Tabela 9 - Genótipos de cana-de-açúcar e seus teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e cinzas (CZ), em silagens com inoculantes e sem inoculantes.	54
Tabela 10 - Genótipos de cana-de-açúcar e seus teores de celulose (CEL), hemicelulose (HEMI) e lignina (LIG) em silagens com inoculantes e sem inoculantes.	56
Tabela 11 – Genótipos de cana-de-açúcar e seus teores de proteína bruta (PB) e sílica (SIL) em silagens com inoculantes e sem inoculantes.....	58

Sumário

1. Introdução Geral.....	12
2. Revisão de Literatura	13
2.1 Alimentação animal.....	13
3. Metodologia Geral	19
4. CAPÍTULO 1. Caracterização de genótipos de cana-de-açúcar quanto a composição químico-bromatológica, produção de biomassa e rendimento teórico de etanol.	21
4.1. Introdução.....	21
4.2. Material e métodos	22
4.3. Resultados e discussão.....	27
4.4. Conclusões	36
5. CAPÍTULO 2. Silagem de cana-de-açúcar tratada com inoculantes bacterianos.....	37
5.1. Introdução.....	37
5.2. Material e métodos.....	38
5.3. Resultados e Discussão	43
5.3.1 Caracterização dos genótipos utilizados na ensilagem	43
5.3.2 Caracterização da silagem	45
5.4. Conclusões	58
6. Considerações Finais	59
Referências	60
Anexos.....	68

1. Introdução Geral

A cana-de-açúcar é uma espécie tropical que se destaca frente às demais, por apresentar o maior potencial de produção de matéria seca e energia por unidade de área, em um único corte (BOIN, 1985). Além de elevado potencial produtivo a cultura apresenta múltiplas formas de utilização, podendo gerar energia na forma etanol ou cogeração a partir da queima dos resíduos (palha e bagaço), produção de alimento na forma de açúcar, rapadura, melado e também de forma indireta como fonte alimento para animais.

A cultura da cana-de-açúcar como forrageira pode ser fornecida para os animais de diferentes formas, sendo que as duas principais formas utilizadas pelos produtores são cana fresca triturada (*in natura*) e na forma de silagem. Quando fornecida *in natura*, caracteriza-se pelo corte diário das plantas e fornecimento imediato aos animais. Já a silagem caracteriza-se pelo processo de conservação da forragem por meio da fermentação anaeróbica e tem por objetivo preservar o valor nutritivo com a menor perda possível (ANJOS; SILVA; CAMPANA, 2008).

Outra finalidade de uso da cultura que vem sendo pesquisada nos últimos anos é como biomassa para a produção de álcool, o chamado etanol de segunda geração, obtido pela hidrólise de biomassa, obtendo-se monossacarídeos, os quais podem ser fermentados produzindo etanol.

Com as novas perspectivas de uso da biomassa de cana-de-açúcar para produção de etanol, esta poderá se tornar uma alternativa para diversificação nas pequenas propriedades rurais e complementação de renda na agricultura familiar, bem como já ocorre na utilização de seus tradicionais derivados: melado, açúcar mascavo, rapadura, aguardente e alimentação animal.

Considerando a hipótese que há variabilidade na composição químico-bromatológica e produção de biomassa dos genótipos de cana-de-açúcar, bem como que o uso de inoculante bacterianos altera as características químico-bromatológicas de silagens de cana-de-açúcar, este trabalho visa avaliar e caracterizar genótipos de cana-de-açúcar para à utilização na alimentação animal e produção de etanol.

2. Revisão de Literatura

2.1 Alimentação animal

A cana-de-açúcar possui elevado potencial para utilização como forrageira em decorrência da sua elevada capacidade de produção de matéria seca (MS), além do seu elevado conteúdo de energia por unidade de MS (SCHIMIDT et al., 2004).

Características como facilidade de cultivo, possibilidade de colheita nos períodos de estiagem e elevado potencial de matéria seca e energia por unidade de área, fazem da cana-de-açúcar um produto de grande interesse para ser utilizado na alimentação animal (FREITAS, 2005). Fabris (2009) destaca também, como características vantajosas da cultura, o custo relativamente baixo de produção e oferta de forragem no período de inverno.

Outra característica que a cultura apresenta como fonte de alimento para os animais é a elevada produtividade de nutrientes digestíveis totais por hectare podendo atingir até 20 toneladas, produtividades bastante superiores quando comparadas a outras culturas tradicionalmente utilizadas, como milho e sorgo (PEDROSO, 2004).

A escolha da variedade a ser utilizada na alimentação de ruminantes é um fator importante, visto que os diferentes materiais genéticos apresentam características particulares, quanto à composição bromatológica, adaptação às condições edafoclimáticas, resistência a pragas e doenças (REIS, 2010).

Cultivares consideradas como ideais para serem fornecidas aos animais são as que possuem características agronômicas e bromatológicas que proporcionam melhor aproveitamento (ANJOS; SILVA; CAMPANA, 2008).

As principais características bromatológicas buscadas em cultivares de cana-de-açúcar para alimentação animal são baixos teores de fibra em detergente neutro (FDN) e detergente ácido (FDA), baixos teores de lignina e celulose, além de baixa relação fibra/açúcar, sendo este um bom parâmetro para avaliar a qualidade do alimento (RODRIGUES et al., 2001).

2.2 Etanol de segunda geração

O uso dos biocombustíveis apresenta como principal objetivo a substituição de combustíveis fósseis, possibilitando a redução da dependência por recursos não renováveis e diminuição das emissões de gases de efeito estufa. Dois diferentes biocombustíveis são produzidos no Brasil em escala comercial, o biodiesel e o etanol (ANP, 2015). A principal matéria-prima para a produção de etanol no Brasil é o caldo da cana-de-açúcar, visto que o aumento da participação deste biocombustível na matriz energética representa uma alternativa viável à substituição de combustíveis fósseis (SANTOS et al., 2012).

Os biocombustíveis podem ser classificados em gerações de acordo com o tipo de matéria-prima e o processo utilizado para a produção. O etanol produzido a partir do caldo de cana-de-açúcar é classificado como biocombustível de primeira geração, pois utiliza matérias-primas também destinadas à alimentação. Biocombustíveis de segunda geração utilizam biomassas lignocelulósicas através de processos significativamente mais complexos do que os processos de primeira geração (DERMIBAS, 2009).

A biomassa proveniente da cana-de-açúcar tem se mostrado promissora para produção de etanol de segunda geração, devido a sua grande área plantada no país, e elevado potencial produtivo. Apenas com o aproveitamento da fração lignocelulósica da cana-de-açúcar estima-se que o volume de etanol produzido poderá ser dobrado sem necessidade de expansão de área cultivada. (CANILHA et al., 2012; SANTOS et al. 2012).

Os principais componentes químicos da biomassa lignocelulósica, que compõe a parede celular das plantas, são a celulose, hemicelulose e lignina. A celulose é um polímero linear formado apenas por moléculas de glicose, a hemicelulose é um polímero ramificado composto por diferentes açúcares como xilose, glicose, galactose, manose e arabinose além de ácidos urânicos. A composição das hemiceluloses varia de acordo com a espécie vegetal e fase de desenvolvimento da planta. A lignina é a fração polimérica formada por unidades precursoras monoméricas *p*-hidroxibenzil (H), guaicila (G) e siringila (S). A estrutura lignocelulósica tem a função de proteção da degradação microbiana (Figura 1). (SANTOS; COLODETTE; QUEIROZ, 2013).

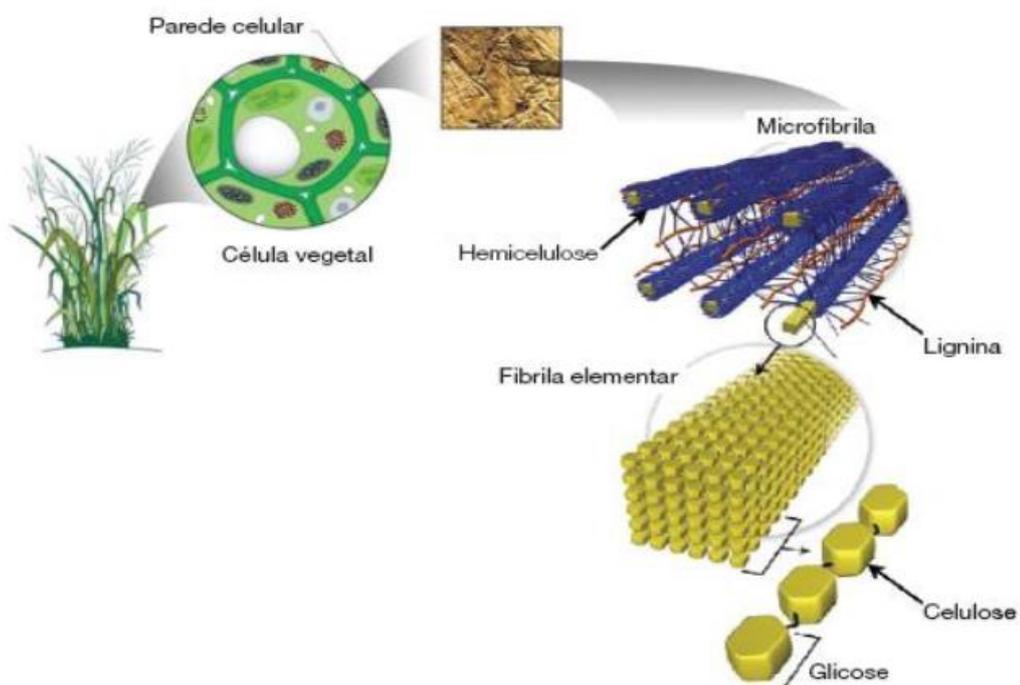


Figura 1 - Composição da parede celular vegetal.
Fonte: Canilha (2010).

A produção de etanol de segunda geração consiste, basicamente, nas etapas de pré-tratamento da biomassa, hidrólise enzimática, fermentação e destilação do etanol obtido (Figura 2) (NAIK et al., 2010; PAULOVA et al., 2015; OGATA, 2013).

Em função das características das biomassas lignocelulósicas, o pré-tratamento da biomassa é essencial para a quebra da estrutura cristalina da lignocelulose e remoção da lignina, expondo às moléculas de celulose e hemicelulose a ação enzimática (Figura 3) (OGEDA; PETRI, 2010).

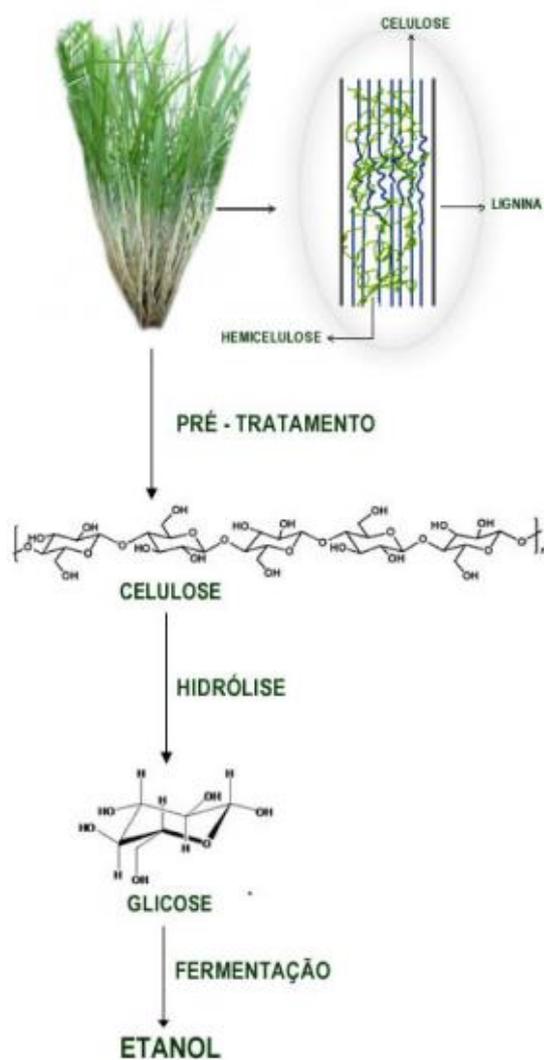


Figura 2 - Esquema de produção de etanol de segunda geração.
Fonte: Santos et al. (2012).

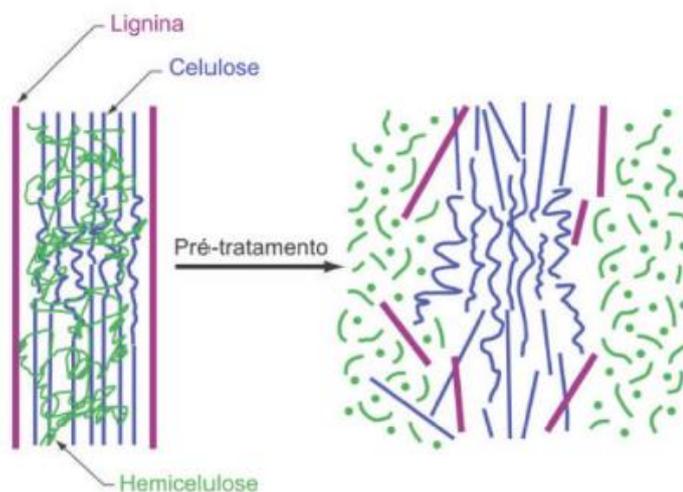


Figura 3 - Representação da desconstrução da biomassa lignocelulósica através de processo de pré-tratamento.
Fonte: Santos et al. (2012).

A etapa posterior ao pré-tratamento é a hidrólise da biomassa, que tem o objetivo de quebrar ligações das moléculas de celulose e hemicelulose liberando açúcares simples para a fermentação. A hidrólise pode ser realizada com o uso de ácidos ou enzimas, sendo que a hidrólise enzimática apresenta vantagens como condições brandas de reação e especificidade enzimática, minimizando a formação de produtos tóxicos (CASTRO; PEREIRA JR., 2010; RANA; ECKARD; AHRING, 2014).

Na fermentação, os açúcares liberados na hidrólise são convertidos a etanol pela ação de microrganismos. Em processos de segunda geração diferentes estratégias para a fermentação podem ser adotadas como a hidrólise e fermentação separadas (SHF), a sacarificação e fermentação simultâneas (SSF), a sacarificação e co-fermentação simultânea (SSCF) e o bioprocessamento consolidado (CBP). Para a fermentação da glicose, principalmente obtida da celulose, a mesma levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) utilizada em processos de primeira geração pode ser utilizada. A fração de açúcares obtidos da hemicelulose, principalmente xilose, não pode ser fermentada utilizando esta mesma levedura. Neste sentido, diversos microrganismos vêm sendo estudados como *Escherichia coli*, *Zymomonas mobilis*, *Scheffersomyces stipitis* para esta aplicação (PARACHIN e ALMEIDA, 2013; ZHAO et al. 2012).

Para produção de etanol de segunda geração buscam-se genótipos com elevada produção de biomassa, bem como elevados teores de celulose e hemicelulose na fração fibrosa, porém com baixos teores de lignina (TEW; COBILL, 2008).

2.3 Silagem de cana-de-açúcar

Tendo em vista que o corte e fornecimento diário da cana-de-açúcar para os animais apresentam algumas desvantagens como elevado custo de mão-de-obra, variações na qualidade da forragem durante o ciclo da cultura, desuniformidade de rebrota do canavial entre outros, o armazenamento da cana-de-açúcar como silagem pode representar uma das alternativas para a solução destes problemas.

Pedroso (2004) relata o crescente uso da cana-de-açúcar na forma de silagem pelos pecuaristas, visando melhorar a eficiência de colheita e manejo dos canaviais, além de possibilitar o armazenamento de sobras dos canaviais ao final da

safra, bem como solucionar problemas emergenciais como ocorrência de geadas ou incêndio acidentais, sem que ocorra perda total da forragem.

A ensilagem da cana-de-açúcar possibilita aproveitar a fase onde a cana apresenta seu maior valor nutritivo e prolongar a sua utilização como forrageira durante todo o ano (MOLINA et al. 2002).

Segundo McDonald et al. (2002) o primeiro princípio da preservação das culturas na forma de silagem é proporcionar condições de anaerobiose, visando inibir a atividade de microrganismos aeróbicos, através do rápido preenchimento dos silos e posteriormente vedação. O segundo é inibir a atividade de microrganismos como *Clostridium* e enterobactérias, que realizam fermentações indesejáveis, sendo que estes microrganismos podem ser inibidos principalmente estimulando o crescimento de bactérias ácido-láticas ou utilizando aditivos químicos.

As principais bactérias que atuam nos processos fermentativos são as bactérias ácido-láticas, produzindo principalmente ácido láctico como produto da fermentação de açúcares (LOPES, 2006; BERNARDES, 2003). O ácido láctico é responsável redução do pH para faixa de 3,8 a 4,2, inibindo os microrganismos indesejáveis (VILELA, 1998).

No entanto, o processo de conservação desta forrageira na forma de silagem por apresentar elevado teor de açúcares, pode provocar rápida proliferação de leveduras, produzindo etanol e gás carbônico (FREITAS, 2005). Conforme McDonald et al. (1991) tais inconvenientes podem provocar perdas de matéria seca nesse processo de até 49%.

Visando reduzir as perdas fermentativas e perdas de valor nutritivo, têm sido usados ativos e/ou inoculantes em silagem de cana-de-açúcar com objetivo de melhorar a estabilidade aeróbica e conseqüentemente controlar a população de leveduras (PEDROSO, 2003; VALERIANO, 2007).

3. Metodologia Geral

Para identificar os potenciais usos da biomassa proveniente de diferentes genótipos de cana-de-açúcar, quanto à utilização na produção de etanol de segunda geração e na alimentação animal, foram realizados dois experimentos na estação experimental da Embrapa Clima Temperado, em Pelotas-RS. Além disso, foram avaliados os efeitos do uso de inoculantes comerciais na produção de silagem de cana-de-açúcar.

No experimento que deu origem ao primeiro capítulo deste trabalho, foram avaliados 25 genótipos de cana-de-açúcar desenvolvidos pelo Programa de Melhoramento Genético da Universidade Federal do Paraná (PMGCA), o qual é integrado a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento Sucroenergético (RIDESA), da qual a Embrapa possui vínculo de pesquisa.

As variáveis que constituíram as avaliações de produtividade de biomassa dos genótipos foram: tonelada de massa fresca por hectare (TMFH), tonelada de massa seca por hectare (TMSH), tonelada de sólidos solúveis totais por hectare (TSSTH) e toneladas de colmos por hectare (TCH).

Para determinar a composição químico-bromatológica foram realizadas as seguintes avaliações: matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose (CEL), hemicelulose (HEM), lignina (LIG) e cinzas (CZ).

O rendimento teórico de etanol da biomassa foi subdividido em etanol a partir de celulose (ECEL), etanol a partir de hemicelulose (EHEMI), total de etanol de segunda geração (2G) e etanol de primeira geração (1G), a soma de 1G e 2G caracteriza o rendimento total de etanol por hectare.

Para o segundo capítulo foram avaliados os efeitos de dois inoculantes comerciais, específicos para cana-de-açúcar frente ao tratamento controle sem inoculação, na qualidade da silagem em seis dos 25 genótipos de cana-de-açúcar avaliados no primeiro capítulo.

As avaliações de qualidade da silagem foram obtidas pelos seguintes parâmetros: proteína bruta (PB) fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose (CEL), hemicelulose (HEM), lignina (LIG), cinzas (CZ), sílica (SIL), matéria seca (MS), digestibilidade *in vitro* da matéria seca

(DIVMS), perdas de matéria seca (PMS), teor de sólidos solúveis totais (SST) e potencial hidrogeniônico (pH) e produção de etanol.

Os dados foram analisados estatisticamente pelos procedimentos de análise de variância, por meio do programa estatístico Genes (CRUZ, 2013).

Para efeito de comparação de médias, no capítulo 1 foi utilizado o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, enquanto no capítulo 2 foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4. CAPÍTULO 1. Caracterização de genótipos de cana-de-açúcar quanto a composição químico-bromatológica, produção de biomassa e rendimento teórico de etanol.

4.1. Introdução

A cana-de-açúcar é uma das principais opções para produção de biomassa no país, mostrando-se competitiva economicamente quando comparado com capim napier, capim elefante, eucalipto entre outras (SILVEIRA, 2014). Rugeri (2015) destaca a cultura como sendo uma das principais fontes de produção de açúcares, energia e alimento, além de ser utilizada na alimentação animal.

A biomassa total da cana-de-açúcar é tradicionalmente utilizada na alimentação animal (SIQUEIRA et al., 2012), no entanto, devido à crescente demanda em substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia, esta biomassa tem despertado interesse para produção de energia tanto na forma de cogeração, quanto na produção de etanol de segunda geração, somado ao já consolidado processo de produção de etanol de primeira geração (SANTOS et al., 2012).

Para produção de etanol celulósico (segunda geração), buscam-se genótipos que apresentem em sua composição elevados teores de celulose e hemicelulose na fração fibrosa, porém com baixos teores de lignina, associados com elevadas produtividades de biomassa (TEW e COBILL, 2008). Enquanto que para utilização na alimentação animal, busca-se na seleção de genótipos associar elevadas produtividades, com a qualidade nutricional, representada por baixos teores de FDN, elevada digestibilidade, elevada produção de matéria seca e energia, além de baixa relação FDN/Brix (OLIVEIRA, 1999; RODRIGUES; ARMANDO; PRIMAVESI; ESTEVES, 1997).

Considerando que há variabilidade na composição química entre genótipos de cana-de-açúcar quanto aos teores de matéria seca, fibra, lignina, celulose e hemicelulose (ANJOS; SILVA; CAMPANA, 2008), é possível desta forma, selecionar dentro da variabilidade existente aqueles que mais se adequam aos objetivos específicos de cada finalidade aplicada a cultura.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar genótipos quanto a composição químico-gramatológicas e características agrônômicas desejáveis para uso na alimentação animal e produção de etanol.

4.2. Material e métodos

O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Embrapa Clima Temperado, em Pelotas-RS, cujas coordenadas são 31° 40' 16" S e 52° 26' 28" O, com altitude de 68 m, durante o ciclo de cana-planta, na safra agrícola 2016/2017.

O clima da região no qual o experimento foi conduzido é do tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen (KUNDTNER; BURILL, 2001). Neste tipo de clima a temperatura é moderada com chuvas bem distribuídas e verão quente. Nos meses de inverno há ocorrência de geadas, sendo a média de temperatura neste período inferior a 16,0 °C. No mês mais quente as máximas são superiores a 30,0 °C.

Os genótipos avaliados foram desenvolvidos pela RIDESA (Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético) e disponibilizados pelo Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA) da UFPR. Estes são divididos em dois grupos distintos, os quais possuem diferentes finalidades de uso. O grupo de genótipos identificado pela sigla "PRBIO" antecedendo o número de identificação, é oriundo de cruzamentos e seleções visando à produção de biomassa, enquanto que o grupo identificado pela sigla "RB" antecedendo o número de identificação, tem origem no programa de seleção voltado para produção de açúcar e etanol. Neste estudo foram avaliados 25 genótipos de cana-de-açúcar, sendo 15 destes pertencentes ao grupo "PRBIO" e 10 ao grupo "RB", em ciclo de cana planta.

O preparo do solo foi realizado com uma aração e duas gradagens, e em seguida a formação dos sulcos, com profundidade de aproximadamente 20 cm e espaçamento entre sulcos de 1,40 metros. A adubação de base foi realizada com a utilização de 60 kg de N ha⁻¹, 120 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 120 kg de K₂O ha⁻¹, distribuída

no interior dos sulcos, posteriormente cobertos com aproximadamente 10 cm de solo, dando origem às linhas para o transplante das mudas, em cobertura aos 120 dias após o plantio foi utilizado 90 kg de N ha⁻¹.

Para obtenção das mudas foi efetuada coleta de colmos a campo de cada um dos 25 genótipos em estudo, após foi realizada a limpeza dos colmos e posteriormente o corte dos mini-toletes com auxílio de guilhotina, para individualização das gemas com tamanho de aproximadamente 3 cm. O plantio dos mini-toletes foi realizado em tubetes de 52 mm de diâmetro por 130 mm de comprimento, preenchidos com substrato comercial Turfa Fértil.

O crescimento e desenvolvimento das mudas ocorreu em ambiente protegido, por 45 dias, seguido por um período de aclimação externo de 10 dias, sendo realizada a poda de aproximadamente 1/3 das folhas, visando estimular o enraizamento das mudas e diminuir as perdas de água por transpiração.

O transplante das mudas foi realizado de forma manual no dia 12/11/2016, com espaçamento de 0,5 m entre plantas (2 plantas por metro linear) e 1,4 m entre linhas. As parcelas foram compostas de 4 linhas de 5 m de comprimento, totalizando 11 plantas por linha e 44 plantas por parcela. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com três repetições.

O preparo das amostras para análise se deu a partir da coleta aleatória de três colmos inteiros (colmos e folhas), aos 11 meses após o transplante das mudas. Posteriormente, as amostras foram desintegradas em picador estacionário, a seguir foi retirada a umidade do material em estufa a 65° C até peso constante. Após seca, as mesmas foram moídas em moinho do tipo Willey com peneira de 1 mm.

As variáveis utilizadas para avaliação de produtividade dos genótipos foram tonelada de massa fresca por hectare (TMFH), tonelada de massa seca por hectare (TMSH), tonelada de sólidos solúveis totais por hectare (TSSTH), toneladas de colmos por hectare (TCH) e percentual de massa seca na planta (MS).

A produtividade de massa fresca por hectare (TMFH), expressa em t.ha⁻¹ foi calculada através da equação:

$$TMFH = (PT \times ((100/E) \times 100)/1000)$$

Onde:

PT: Massa de duas touceiras inteiras com colmos e folhas (kg)

E: Espaçamento (1,4 m)

Foram cortadas duas touceiras em sequência, em umas das duas linhas centrais da parcela e na parte central da linha, as quais foram pesadas com auxílio de balança digital.

Para produtividade de massa seca por hectare, expressa em TMSH, estimou-se através da seguinte equação:

$$\text{TMSH} = (\text{PT} \times ((100/\text{E}) \times 100) / 1000) \times \text{MS}$$

Onde:

PT: Massa de duas touceiras inteiras com colmos e folhas (kg)

E: Espaçamento (1,4 m)

MS: matéria seca na planta (%)

O parâmetro utilizado na avaliação da maturação dos genótipos foi o teor de sólidos solúveis totais (SST), medido em °Brix. As avaliações de SST foram realizadas durante todo o período de desenvolvimento dos colmos, a partir do surgimento dos colmos até a colheita do experimento. As avaliações foram realizadas em três diferentes colmos, com amostragem em dois pontos por colmo: no terceiro entre nó abaixo do ponto de quebra do palmito e no terceiro entre nó acima do solo, com utilização de um calador para coleta do caldo no colmo e leitura em refratômetro digital portátil marca Atago® modelo Pal-1, com compensação automática da temperatura.

Para a obtenção da produtividade de sólidos solúveis por (TSSTH), foi utilizado o teor de SST médio do genótipo no momento da colheita. Para o cálculo foi utilizada a seguinte equação:

$$\text{TSSTH} = (\text{SSTM} \times \text{TCH}) / 100.$$

Onde:

SSTM: Teor de sólidos solúveis médio do colmo no momento da colheita

TCH: Tonelada de colmos por hectare

Para produtividade de colmos, expressa em toneladas de colmo por hectare (TCH), foi utilizada a equação:

$$TCH = (PT \times ((100/ E) \times 100).$$

Onde:

PT: Massa de colmos de duas touceiras (kg)

E: Espaçamento (1,4 m).

Para as avaliações da composição bromatológica dos genótipos foram utilizadas as seguintes variáveis: matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose (CEL), hemicelulose (HEM), lignina (LIG) e cinzas (CZ). As avaliações foram realizadas utilizando método de espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS), modelo NIRS Flex 500 (Buchi).

Os cálculos de rendimento teórico de etanol de segunda geração foram realizados conforme descrito por Santos et al. (2012), considerando 100% de eficiência na hidrólise e fermentação.

Para o cálculo de rendimento de etanol de segunda geração a partir de celulose (ECEL) foi utilizada a equação descrita abaixo:

$$ECEL = ((TMSH \times (CEL/100) \times RTCG \times RTGE) \times 1000) / DE$$

Onde:

ECEL: Volume de etanol de celulose por hectare (L)

TMSH: Toneladas de matéria seca por hectare

CEL: Teor de celulose na amostra em %

RTCG: Rendimento teórico de conversão de celulose em glicose (1,11 g g⁻¹)

RTGE: Rendimento teórico de conversão de glicose em etanol (0,511 g g⁻¹)

DE: Densidade do etanol (0,789 g l⁻¹)

Para o cálculo de rendimento de etanol de segunda geração a partir de hemicelulose (EHEMI) foi utilizada a equação descrita abaixo:

$$EHEMI = ((TMSH \times (HEMI/100) \times RTHX \times RTXE) \times 1000) / DE$$

Onde:

EHEMI: Volume de etanol de hemicelulose por hectare (L)

TMSH: Toneladas de matéria seca por hectare

HEMI: Teor de hemicelulose na amostra em %

RTHX: Rendimento teórico de conversão de hemicelulose em xilose ($1,057 \text{ g g}^{-1}$)

RTXE: Rendimento teórico de conversão de xilose em etanol ($0,511 \text{ g g}^{-1}$)

DE: Densidade do etanol $0,789 \text{ (g l}^{-1}\text{)}$

Para obtenção do rendimento teórico de etanol total de segunda geração (2G) foi efetuada a soma do ECEL e EHEMI

$$2G = \text{ECEL} + \text{EHEMI}$$

Para o cálculo de rendimento teórico de etanol de primeira geração (1G) foi utilizada a equação descrita a baixo:

$$1G = ((\text{TCH} \times \text{RTC}) \times (\text{SST}/100) \times \text{PC} \times \text{RTGE}) \times 1000 / \text{DE}$$

Onde:

1G: Volume de etanol de primeira geração por hectare (L)

TCH: Toneladas de colmo por hectare

SST: Teor de sólidos solúveis totais no colmo em %

RTC: Rendimento teórico de caldo no colmo ($0,75 \text{ g g}^{-1}$)

PC: Pureza teórica do caldo $0,95 \text{ (g g}^{-1}\text{)}$

RTGE: Rendimento teórico de conversão de glicose em etanol ($0,511 \text{ g g}^{-1}$)

DE: Densidade do etanol ($0,789 \text{ g l}^{-1}$)

Para obtenção do rendimento teórico de etanol total de primeira geração (1G) e segunda geração (2G) foi efetuada a soma dos rendimentos em cada processo de geração (1G + 2G).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e as médias quando significativas foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. O processamento de dados foi realizado com auxílio do *software* Genes (Cruz, 2013).

4.3. Resultados e discussão

A partir da análise de variância da caracterização bromatológica dos genótipos apresentada no Anexo A1, observa-se efeito significativo ($p < 0,05$) para todas as variáveis analisadas.

As produtividades dos genótipos da sigla “RB” em toneladas de matéria seca por hectare (TMSH), toneladas de matéria fresca por hectare (TMFH), toneladas de colmos por hectare (TCH) e toneladas de sólidos solúveis totais por hectare (TSSTH) estão descritas na Tabela 1.

Quanto aos valores de TMSH, os genótipos RB106819 e RB106818 com produtividades de 46,0 e 41,1 respectivamente, constituíram o grupo de maior produtividade para este parâmetro, enquanto que os demais genótipos apresentaram variação de produtividade entre 21,4 e 32,7 t ha⁻¹.

Tabela 1 - Produtividade de genótipos RB de cana-de-açúcar em toneladas de matéria fresca por hectare (TMFH), toneladas de matéria seca por hectare (TMSH), toneladas de colmos por hectare (TCH) e toneladas de sólidos solúveis totais por hectare (TSSTH).

Genótipo	TMSH	TMFH	TCH	TSSTH
RB106819	46,0 a*	186,5 a	154,9 a	30,5 a
RB106818	41,1 a	171,1 a	136,6 a	26,5 a
RB106814	32,7 b	143,5 a	121,1 a	23,2 a
RB106822	29,4 b	128,3 b	98,7 b	20,5 b
RB106807	29,1 b	119,6 b	93,2 b	17,4 b
RB966928	32,2 b	109,8 b	86,9 b	17,0 b
RB867515	26,5 b	107,4 b	84,3 b	15,7 b
RB106815	26,2 b	96,1 b	80,7 b	15,0 b
RB006995	26,4 b	92,1 b	67,1 b	13,6 b
RB036153	21,4 b	89,5 b	70,0 b	12,7 b
Média	31,1	124,4	99,3	19,2
C.V.%	19,2	16,3	19,3	18,2

*Médias seguidas da mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Para toneladas de matéria fresca por hectare (TMFH), os genótipos RB106819, RB106818 e RB106814 obtiveram produtividades de 186,5, 171,1 e 143,5 t ha⁻¹ respectivamente, compondo estes o grupo de maior produtividade, superando as referências RB966928 e RB867515 que juntamente com os demais genótipos constituíram o grupo com produtividade inferior a 128,3 t ha⁻¹.

O mesmo comportamento dos genótipos para TMFH foi observado nas variáveis TCH e TSSTH, onde os genótipos RB106819, RB106818 e RB106814 constituíram os grupos de maiores produtividades, para ambas as variáveis, sendo que em TCH o grupo de maior produtividade apresentou valores acima de 120 t ha⁻¹. Os demais genótipos pertencentes ao segundo grupo apresentaram variação de 70,0 a 98,7 t ha⁻¹, enquanto que para TSSTH as médias para o primeiro grupo variaram entre 23,2 e 30,5 t ha⁻¹, e as do segundo grupo entre 12,7 e 20,5 t ha⁻¹.

Quanto aos genótipos do grupo PRBIO, as médias de produtividade para os parâmetros TMFH, TMSH, TCH e TSSTH, podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Produtividade de genótipos PRBIO de cana-de-açúcar em toneladas de matéria fresca por hectare (TMFH), toneladas de matéria seca por hectare (TMSH), toneladas de colmos por hectare (TCH) e toneladas de sólidos solúveis totais por hectare (TSSTH).

Genótipo	TMSH	TMFH	TCH	TSSTH
PRBIO353	38,0 a*	179,4 a	145,8 a	24,6 a
PRBIO537	36,2 a	160,7 a	127,6 a	21,8 a
PRBIO435	33,8 a	149,5 a	127,0 a	20,6 a
PRBIO337	30,4 b	138,9 b	104,8 b	18,7 a
PRBIO458	28,9 b	134,3 b	103,7 b	18,0 a
RB867515	27,5 b	125,1 b	102,9 b	17,7 a
PRBIO354	27,5 b	124,6 b	99,6 b	17,0 a
PRBIO375	26,7 b	121,1 b	96,8 b	16,2 a
PRBIO293	26,3 b	117,4 b	95,7 b	16,1 a
PRBIO379	25,8 b	115,8 b	93,6 b	15,4 a
PRBIO528	24,6 c	105,4 c	87,0 b	15,0 a
RB966928	23,6 c	92,9 c	73,5 c	14,6 a
PRBIO329	22,5 c	92,9 c	66,6 c	11,9 b
PRBIO451	20,6 c	92,3 c	64,3 c	11,8 b
PRBIO407	20,2 c	80,6 c	64,3 c	11,4 b
PRBIO466	16,1 c	66,9 d	54,2 c	10,5 b
PRBIO469	11,6 c	50,0 d	35,7 c	6,4 b
Média	25,9	114,6	90,8	15,8
C.V.%	20,7	16,5	19,0	22,5

*Médias seguidas da mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Para o parâmetro toneladas de matéria seca por hectare (TMSH), o grupo que apresentou maiores produtividade foi constituído pelos genótipos PRBIO353, PRBIO537 e PRBIO435, com respectivos valores de 38,0, 36,2 e 33,8 t ha⁻¹. Para o

grupo de produtividade intermediária as variações obtidas foram entre 25,8 e 30,4 t ha⁻¹, enquanto os demais genótipos apresentaram produtividade entre 11,6 e 24,6 t ha⁻¹.

Quanto ao parâmetro produtividade de matéria fresca por hectare (TMFH) observa-se a formação de quatro grupos de genótipos. O primeiro deles é formado pelos genótipos PRBIO353, PRBIO537 e PRBIO435 com maiores médias de produtividades, sendo estas superiores ao dobro das apresentadas pelos genótipos PRBIO466 e PRBIO469, que compõem o quarto grupo com as menores produtividades. Os dois grupos restantes apresentaram genótipos com produtividades médias intermediárias a estes, sendo o segundo com médias entre 105,4 e 138,9 t ha⁻¹ e o terceiro grupo com médias de 80,6 a 105,4 t ha⁻¹.

A produtividade de colmos (TCH) apresentou variação entre 35,7 e 145,8 t ha⁻¹, visto que os genótipos foram separados em três grupos, onde os de maiores produtividades apresentaram médias acima de 126,0 t ha⁻¹. O grupo intermediário foi composto por genótipos com produtividade entre 87,0 e 104,8 t ha⁻¹, enquanto que o terceiro grupo foi constituído por genótipos com média inferior a 74,0 t ha⁻¹.

Para a variável TSSTH os genótipos foram separados em dois grupos, aqueles que apresentaram produtividade maior ou igual a 14,6 t ha⁻¹ constituíram o primeiro grupo, e os demais genótipos formaram o segundo grupo, com intervalo de variação para este parâmetro de 6,4 a 24,6 t ha⁻¹.

Antunes et al, (2016) obteve produtividades entre 106,8 e 130,6 t ha⁻¹ para TCH e entre 20,1 e 23,8 t ha⁻¹ para TSSTH, avaliando 12 clones médio-tardios em nove ambientes na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

Quanto aos teores de proteína bruta na matéria seca (PB), observa-se a formação de três grupos de genótipos (Tabela 3). O grupo de maior teor variou de 5,3% a 6,0% representado pelos genótipos PRBIO337, PRBIO451, PRBIO458 e RB106807, enquanto que o segundo grupo, formado pelos genótipos PRBIO293, PRBIO375, RB106818, PRBIO353, PRBIO435, PRBIO466 e PRBIO329, apresentaram teores de PB intermediário, entre 4,7% e 5,0%. Um terceiro grupo e mais numeroso, foi composto pelos demais 14 genótipos com teores de PB variando entre 3,5% a 4,4%. Deste modo, tais resultados evidenciam que há variabilidade genética entre os genótipos estudados para esta variável.

Nussio (2008) obteve teor de PB de 3,96% em planta inteira da variedade IAC86-2480, enquanto Cruz, et al. (2014) avaliando oito variedades de cana-de-açúcar obteve teores de PB variando entre 2,1% e 2,8%.

Os teores de PB obtido nos genótipos avaliados são considerados insuficientes para uso sem suplementação proteica, com base no teor mínimo de 7% para atender à exigência da microbiota ruminal conforme Medeiros & Marino (2015). No entanto, os genótipos do grupo 1 poderiam ser indicados, considerando a característica PB, para a utilização na alimentação animal, com menor necessidade de complementação proteica.

Para os teores de FDN em percentual na MS, foi formado dois grupos de genótipos. O grupo 1 com maiores teores apresentou variação entre 54,5% e 61,0% de FDN, composto apenas por genótipos "PRBIO" (451, 329, 375, 458, 469, 466 e 379), enquanto que o restante dos genótipos constituiu o grupo 2, o qual apresentou teores de FDN variando entre 47,0% e 53,6%.

A fração fibra em detergente neutro (FDN) em forragens é compreendida pelas frações hemicelulose, celulose, lignina e sílica (VAN SOEST, 1994). Quanto a este parâmetro, na alimentação animal busca-se genótipos com menores teores possíveis, tendo em vista que este possui correlação inversa com a ingestão de MS. Contudo, objetivando a produção de etanol de segunda geração, maiores teores deste parâmetro indicam maiores teores de celulose e hemicelulose que são utilizados como matéria-prima neste processo.

Segundo Reis (2010) maiores teores de FDN na forragem, acarretam em acúmulo da fibra não degradada no rúmen, limitando o consumo do volumoso. Este autor observou teores de FDN na cultura da cana-de-açúcar variando entre 43,8% a 51,6% para variedades de ciclo precoce, enquanto que para as de ciclo tardio observou valores entre 40,8% e 50,6%.

Quanto aos teores de FDA na MS três grupos de genótipos foram formados, sendo o primeiro constituído apenas pelo genótipo PRBIO451 que apresentou maior teor com 42,3%, enquanto que o segundo grupo foi formado pelos genótipos: PRBIO329, PRBIO375 e PRBIO458 que apresentaram teores de 39,8%, 39,3% e 38,4%, respectivamente. Os demais genótipos apresentaram teores entre 33,5% e 37,1%.

Assim como para FDN a fração FDA apresenta correlação negativa com o valor nutricional dos alimentos (FERNANDES et al., 2003). Para este parâmetro,

Reis (2010) observou variações nos teores entre 25,0% e 34,6% para variedades de cana-de-açúcar de ciclo precoce e médio-tardio.

Para os teores de HEMI, os genótipos não foram separados em grupos, no entanto, as variações observadas para esta variável foram entre 12,0% e 19,9% de participação na MS.

De acordo com Valadares Filho et al. (2018), em tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos, o teor médio de HEMI na MS é de 20,4%, no entanto Cardoso (2005) avaliando o potencial forrageiro de 23 variedades de cana-de-açúcar para alimentação de ruminantes, obteve teores variando entre 14,0% e 19,5%, e média geral de 17%. Valores esses semelhantes aos obtidos neste estudo.

Em relação aos teores de celulose (CEL), obtiveram-se três grupos. O primeiro grupo foi formado pelos genótipos PRBIO451 e PRBIO458, com teores 37,5% e 36,2% respectivamente, já o segundo grupo foi formado pelos genótipos PRBIO329, PRBIO375 e RB966928 com os respectivos teores de 34,8%, 34,2% e 34,0%, enquanto que o terceiro grupo constituído pelos demais genótipos, apresentou variações nos teores da ordem de 30,5% a 33,4%.

Cardoso (2005) observou variações nos teores de CEL de 9,15% a 23,0%, os quais foram menores que os obtidos no presente estudo. No entanto Ogata (2013) obteve teores de CEL com variação de 26,5% a 54,18%, avaliando 207 genótipos de cana-de-açúcar, sendo este intervalo de variação semelhante aos os teores obtidos neste trabalho.

O teor de celulose é o melhor parâmetro bromatológico, entre os avaliados neste estudo, para determinar a qualidade dos genótipos quanto à produção de etanol. Tendo em vista que, a CEL é a principal matéria-prima neste processo. Porém, é necessário associar os teores percentuais obtidos, com as produtividades de biomassa destes genótipos, visto que, a combinação de elevados teores dos dois parâmetros irá resultar em maiores quantidades de celulose por unidade de área. Para a alimentação de ruminantes os teores de CEL também são desejáveis, uma vez que, esses animais são capazes de degradar esse componente da parede celular, no entanto, quando associados a elevados teores de lignina apresentam baixos percentuais de digestibilidade.

Os genótipos foram divididos em dois grupos quanto aos teores de lignina (LIG), sendo que o grupo que apresentou os maiores teores deste parâmetro variou

de 3,6% a 4,8%, enquanto que o grupo constituído por genótipos de menor teor apresentou variações entre 1,8% a 3,4%.

Cruz et al. (2014) observou variação nos teores de LIG de 1,7% a 3,7% avaliando a composição química de oito variedades de cana-de-açúcar. Pate et al. (2001) avaliando sessenta e seis variedades de cana-de-açúcar observou valor médio de 6,3%, mínimo de 4,6% e máximo de 8,4% para os teores de LIG.

Para o teor de sólidos solúveis totais (SST) foram formados três diferentes grupos de genótipos. O primeiro grupo incluiu 20 genótipos, com teores de SST mais elevados, entre 17,7 e 20,0 °Brix. Os demais genótipos formaram um grupo intermediário, composto por PRBIO329 e PRBIO337, com teores de SST entre 17,1 e 16,9 °Brix. Os genótipos PRBIO293, PRBIO435 e PRBIO458 apresentaram os menores valores de SST, inferiores a 15,4 °Brix. Reis (2010) para o teor de sólidos solúveis no caldo obteve variações entre 15,8 e 19,7 °Brix, avaliando variedades de ciclo precoce e médio-tardio, enquanto para Rodrigues; Primavesi; Esteves (1997), as variações foram entre 16,4 e 19,9 °Brix para as variedades avaliadas.

Para a relação FDN/SST formaram-se quatro grupos de genótipos, com os seguintes intervalos de variação: grupo 1 de 3,5 a 3,9; grupo 2 de 3,2 a 3,3; grupo 3 de 2,7 a 2,9 e grupo 4 de 2,4 a 2,6.

Gooding (1982) sugere como um bom parâmetro para avaliar a qualidade de variedades de cana-de-açúcar para a alimentação animal a relação FDN/açúcar, ressaltando que é importante que esta relação seja de menores valores possíveis.

Rodrigues; Primavesi; Esteves (1997) avaliando onze variedades industriais de cana-de-açúcar obteve relações FDN/Brix variando entre 2,3 e 3,4 com média de 2,7, considerando a relação média obtida como adequada para as variedades avaliadas. Este autor ressalta também que entre variedades com a mesma relação FDN/Brix, as que possuem menor teor de FDN permitem maior consumo de energia, pois elevados teores deste componente limitam o consumo de cana-de-açúcar pelo animal.

Para os teores de matéria seca (MS) somente três genótipos se destacaram dos demais avaliados, sendo estes o RB966928, RB006996 e RB106815, com os respectivos teores de 29,1%, 28,6% e 27,3%. Os demais genótipos apresentaram variações de MS entre 20,6% e 25,2%, com teor médio de 23,8%. Freitas (2006) obteve resultados semelhantes avaliando a divergência nutricional de genótipos de

cana-de-açúcar, com teores de MS variando entre 20,1% e 27,6% e média de 24,4%, em treze genótipos de cana-de-açúcar avaliados.

Tabela 3 - Caracterização de genótipos de cana-de-açúcar quanto a teores de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), hemicelulose (HEMI), celulose (CEL), lignina (LIG), sólidos solúveis totais (SST), relação FDN/SST e matéria seca (MS).

Genótipo	PB	FDN	FDA	HEMI	CEL	LIG	SST	FDN/SST	MS
RB106814	3,9 c	47,0 b	34,1 c	12,9 a	32,3 c	1,8 b	19,3 a	2,4 d	22,9 b
RB106822	4,4 c	49,3 b	35,1 c	14,2 a	31,7 c	3,4 b	20,8 a	2,4 d	23,0 b
RB966928	3,5 c	48,7 b	36,6 c	12,1 a	34,0 b	2,6 b	19,4 a	2,5 d	29,1 a
RB106819	4,0 c	48,9 b	36,0 c	12,8 a	33,2 c	2,9 b	19,7 a	2,5 d	24,8 b
RB006995	4,1 c	50,2 b	35,4 c	14,8 a	32,5 c	2,9 b	20,3 a	2,5 d	28,6 a
RB106818	4,8 b	51,3 b	35,9 c	15,3 a	32,6 c	3,4 b	19,5 a	2,6 d	24,6 b
RB036153	4,4 c	48,6 b	34,3 c	14,3 a	31,3 c	3,0 b	18,2 a	2,7 c	25,0 b
PRBIO353	4,8 b	50,6 b	35,7 c	14,9 a	32,6 c	3,1 b	18,5 a	2,7 c	21,2 b
RB867515	4,3 c	51,1 b	35,4 c	15,7 a	32,2 c	3,2 b	18,6 a	2,7 c	25,2 b
RB106807	5,3 a	51,8 b	36,6 c	15,2 a	33,0 c	3,6 a	19,1 a	2,7 c	24,0 b
PRBIO537	4,1 c	52,0 b	36,1 c	15,9 a	33,0 c	3,2 b	18,4 a	2,8 c	24,1 b
PRBIO407	4,3 c	51,9 b	35,1 c	16,8 a	31,0 c	4,1 a	18,6 a	2,8 c	24,8 b
PRBIO354	4,1 c	52,7 b	35,7 c	17,0 a	31,8 c	3,9 a	18,9 a	2,8 c	24,1 b
PRBIO528	4,0 c	50,9 b	33,5 c	17,4 a	30,9 c	2,7 b	17,7 a	2,9 c	23,2 b
PRBIO379	4,4 c	54,5 a	36,9 c	17,6 a	33,4 c	3,4 b	18,5 a	2,9 c	21,5 b
RB106815	3,8 c	53,6 b	36,6 c	17,1 a	32,9 c	3,7 a	18,7 a	2,9 c	27,3 a
PRBIO375	5,0 b	57,0 a	38,5 b	18,5 a	34,2 b	4,3 a	19,5 a	2,9 c	20,6 b
PRBIO466	4,8 b	55,6 a	37,2 c	18,4 a	33,2 c	4,0 a	19,0 a	3,0 c	24,1 b
PRBIO337	6,0 a	52,2 b	35,2 c	17,0 a	30,5 c	4,7 a	16,9 b	3,1 b	22,9 b
PRBIO469	4,2 c	56,6 a	36,8 c	19,8 a	33,0 c	3,9 a	17,7 a	3,2 b	23,6 b
PRBIO293	5,1 b*	51,2 b	34,9 c	16,3 a	31,4 c	3,4 b	15,4 c	3,3 b	21,8 b
PRBIO451	5,7 a	61,0 a	42,3 a	18,7 a	37,5 a	4,8 a	18,6 a	3,3 b	23,4 b
PRBIO329	4,8 b	59,3 a	39,3 b	20,0 a	34,8 b	4,5 a	17,1 b	3,5 a	24,3 b
PRBIO435	4,8 b	51,5 b	35,0 c	16,5 a	32,1 c	2,9 b	14,7 c	3,6 a	20,8 b
PRBIO458	5,4 a	56,7 a	39,9 b	16,8 a	36,2 a	3,6 a	14,8 c	3,9 a	20,7 b
Média	4,6	52,6	36,3	16,2	32,9	3,5	18,3	2,9	23,8
CV(%)	9,9	5,3	3,9	15,5	4,8	19,0	5,1	7,8	9,2

* Médias seguidas da mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Para se obter genótipos com elevado potencial de produção de etanol de segunda geração, deve-se associar elevados teores de celulose e hemicelulose com elevadas produtividades de biomassa por unidade de área. Visando melhor identificar e selecionar os genótipos com potencial para produção de etanol foi

calculado o rendimento teórico de etanol de primeira (1G) e segunda geração (2G) conforme Tabela 4.

Objetivando associar os teores de CEL, HEMI e SST (Tabela 3), com as produtividades de biomassa dos genótipos (Tabela 1 e Tabela 2), foram calculados os rendimentos teóricos de etanol de primeira geração (1G) e segunda geração (2G), sendo o 2G obtido pela soma do etanol produzido a partir de celulose (ECEL) e do etanol produzido a partir da hemicelulose (EHEMI), foram calculados também os somatórios das duas gerações, como pode ser observado na Tabela 4.

Os genótipos que apresentaram maior potencial de produção de etanol a partir de celulose (ECEL), foram os que constituíram o grupo com rendimentos teóricos entre 7511,8 a 11067,3 l ha⁻¹. Cabe ressaltar também que com exceção do PRBIO458, os demais genótipos pertencentes a este grupo constituem também o grupo de menor teor de LIG (Tabela 3), o que favorece a utilização na produção de etanol 2G, tendo em vista que a lignina (LIG) necessita ser removida na etapa de pré-tratamento do processo.

Os rendimentos teóricos de etanol celulósico (ECEL) obtidos neste estudo para o grupo 1 foram maiores que os citados por Santos et al. (2012), que obteve rendimentos teóricos de etanol a partir da celulose do bagaço e da palha somados de 7000,0 l ha⁻¹, considerando a produtividade média de 85,0 t ha⁻¹. Enquanto que em média, o grupo 1, apresenta potencial teórico de mais de 8600,0 l ha⁻¹.

Para fração hemicelulósica (EHEMI), não foi observado agrupamento dos genótipos para os rendimentos teóricos desta fração, no entanto, esta apresentou contribuição de 1628,6 a 5302,4 litros por hectare no rendimento total de etanol 2G.

Considerando o total de etanol 2G, os genótipos que apresentaram maior rendimento teórico foram RB106819, RB106818, PRBIO353, PRBIO537 e PRBIO435, com rendimento superior a 11000,0 l ha⁻¹, evidenciando o potencial destes genótipos para produção de etanol de segunda geração.

Para os rendimentos de etanol 1G os genótipos RB106819 e RB106818 se destacaram com os maiores valores, com rendimentos acima de 12000,0 l ha⁻¹. Estes dois genótipos apresentaram também os maiores rendimentos combinado nas duas formas de geração, destacando-se dos demais com rendimentos acima de 27000,0 l ha⁻¹, principalmente por apresentarem elevados rendimentos de colmos e biomassa total por unidade de área.

Tabela 4- Rendimento teórico de etanol de segunda geração a partir da fração hemicelulósica (EHEMI), celulósica (ECEL), total de segunda geração (2G), de primeira geração (1G) e total de primeira e segunda geração de genótipos de cana-de-açúcar.

Genótipo	Litros de etanol/ hectare				
	ECEL	EHEMI	2G	1G	1G + 2G
RB106819	11067,3 a*	3887,9 a	14955,1 a	14057,0 a	29012,1 a
RB106818	9600,9 a	5302,4 a	14903,3 a	12398,6 a	27302,0 a
PRBIO353	8915,1 a	3782,7 a	12697,9 a	11341,7 b	24039,7 b
PRBIO537	8703,8 a	3796,1 a	12499,8 a	10084,7 b	22584,6 b
PRBIO435	7798,5 a	3877,8 a	11676,3 a	8623,9 c	20300,2 b
PRBIO458	7511,8 a	3311,1 a	10822,9 b	7430,1 c	18252,9 c
RB966928	7941,1 a	2629,3 a	10570,4 b	7824,9 c	18395,2 c
RB106814	7567,7 a	2886,9 a	10454,6 b	10700,9 b	21155,5 b
RB106807	7014,9 b	3086,8 a	10101,7 b	7899,8 c	18001,6 c
PRBIO337	6616,7 b	3450,4 a	10067,1 b	8317,8 c	18385,0 c
PRBIO375	6701,9 b	3180,0 a	9881,9 b	9503,9 b	19385,9 c
RB106822	6711,4 b	2892,8 a	9604,2 b	9469,4 b	19073,6 c
PRBIO354	6187,6 b	3327,7 a	9515,3 b	8198,7 c	17714,0 c
RB106815	6147,1 b	3022,6 a	9169,8 b	6943,0 c	16112,8 c
RB867515	6273,1 b	2809,4 a	9082,5 b	7443,2 c	16525,7 c
PRBIO379	6001,9 b	2892,1 a	8894,0 b	7872,4 c	16766,4 c
RB006995	6160,6 b	2636,7 a	8797,3 b	6273,8 d	15071,1 c
PRBIO293	5975,8 b	2765,0 a	8740,8 b	6920,2 c	15661,1 c
PRBIO329	5597,9 b	3106,7 a	8704,7 b	5482,9 d	14187,5 d
PRBIO528	5376,9 b	3030,6 a	8407,5 b	7086,6 c	15494,1 c
PRBIO451	5649,4 b	2551,8 a	8201,3 b	5262,0 d	13463,3 d
PRBIO407	4661,5 b	2493,7 a	7155,2 c	5463,4 d	12618,6 d
RB036153	4858,4 b	2113,5 a	6971,9 c	6039,7 d	13011,6 d
PRBIO466	3833,9 b	2040,5 a	5874,3 c	4846,8 d	10721,1 d
PRBIO469	2769,1 b	1628,6 a	4397,8 c	2930,5 d	7328,3 d
Média	6625,8	3060,1	9685,9	7936,6	17622,6
C.V.%	21,3	24,2	19,7	20,1	18,6

*Médias seguidas da mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Em relação à seleção de genótipos para a utilização na alimentação animal, adotaram-se como critérios de seleção teores de FDN menores que 52%, relação FDN/Brix menor que 2,7, teores de lignina menores que 3,5% e produtividades de matéria seca maior que 30 toneladas por hectare. Os genótipos que se adequaram as faixas adotadas para cada uma das variáveis foram assinalados com “X” na Tabela 5.

De acordo com os critérios de seleção adotados neste estudo para caracterização dos genótipos quanto à qualidade para a utilização na alimentação animal, os genótipos RB106814, RB106818 e RB106819 destacam-se com desempenho satisfatório para todos os critérios.

Tabela 5 - Genótipos de cana-de-açúcar e seus teores de fibra em detergente neutro (FDN), relação FDN/Brix, teor de lignina (LIG) e produtividade em toneladas de matéria seca por hectare (TMSH).

GENÓTIPO	CRITÉRIOS DE SELEÇÃO			
	FDN < 52	FDN/SST < 2,7	LIG < 3,5	TMSH > 30T
RB106814	X	X	X	X
RB106818	X	X	X	X
RB106819	X	X	X	X
RB966928	X	X	X	
RB867515	X		X	

4.4. Conclusões

Os genótipos RB106814, RB106818 e RB106819 possuem aptidão para alimentação animal;

Para etanol de segunda geração os genótipos RB106819, RB106818, PRBIO353, PRBIO537 e PRBIO435 apresentam maior potencial de uso;

O RB106819 e RB106818 apresentam dupla finalidade, tanto para alimentação animal, quanto para produção de etanol de segunda geração.

5. CAPÍTULO 2. Silagem de cana-de-açúcar tratada com inoculantes bacterianos.

5.1. Introdução

A cultura da cana-de-açúcar se destaca frente a outras forrageiras de clima tropical como a planta de maior potencial de produção de energia e biomassa seca por unidade de área em um único corte (FRANÇA et al., 2006).

Um dos fatores que levam a utilização da cultura é a produtividade da cana em nutrientes digestíveis totais por hectare que pode variar entre 15 e 20 toneladas, enquanto em milho, sorgo e mandioca as produtividades atingem cerca de 8 toneladas de nutrientes digestíveis totais por hectare. (PEDROSO, 2004).

Segundo Cardoso (2013), a cana-de-açúcar pode ser utilizada como forragem, principalmente nos períodos mais secos do ano, período no qual a cultura apresenta maior valor nutritivo em decorrência do maior acúmulo de açúcares. No estado do Rio Grande do Sul a cultura atinge a sua maturidade no inverno, período no qual há redução na produção de algumas plantas forrageiras em função da ocorrência de baixas temperaturas, podendo a cana-de-açúcar ser utilizada como uma importante fonte de forragem nestes períodos.

Visando reduzir os efeitos de períodos críticos de produção de forragem sobre a produção animal, a conservação de volumosos tem sido utilizada como técnica que permite o fornecimento de forragem em qualquer período do ano (RIBEIRO et al., 2010).

A utilização da silagem como forma de conservação da cana-de-açúcar permite o aproveitamento das sobras de produção ao final da safra, proporcionando maior uniformização da rebrota do canavial, em função da realização de um único corte durante o ano, além da redução dos custos com mão-de-obra, comparado ao fornecimento *in natura*, que possui necessidade diária para a colheita.

No entanto, no processo de ensilagem da cana-de-açúcar é possível que ocorra fermentação alcoólica durante o processo, provocada pela ação de leveduras que utilizam os açúcares em abundância na cultura como substrato para produção de etanol, gás carbônico e água causando expressivas perdas de qualidade e matéria seca.

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do uso de inoculantes bacterianos na qualidade de silagens de diferentes genótipos de cana-de-açúcar e identificar genótipos com características favoráveis à ensilagem.

5.2. Material e métodos

O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Embrapa Clima Temperado, em Pelotas-RS, cujas coordenadas são 31° 40' 16" S e 52° 26' 28" O, com altitude de 68 m, durante o ciclo de cana-planta, na safra agrícola 2015/2016.

Para a avaliação da qualidade de silagem, foram utilizados 6 genótipos de cana-de-açúcar: PRBIO329, PRBIO379, RB106818, RB106819, RB106822 e RB006995.

Foram utilizados dois inoculantes comerciais no tratamento da silagem, sendo o inoculante comercial 1 (I1) composto por *Pediococcus acidilactici* $3,9 \times 10^{10}$ UFC g⁻¹ e *Propionibacterium acidipropionici* $3,75 \times 10^{10}$ UFC g⁻¹ e o inoculante comercial 2 (I2) formulado com *Propionibacterium acidipropionici* $5,0 \times 10^{10}$ UFC g⁻¹ e uma associação de enzimas, além da silagem sem inoculante (I0) como controle para os tratamentos. As doses dos produtos foram de 2 g t⁻¹ de silagem, de acordo com as recomendações dos fabricantes contidas nos rótulos dos produtos.

UFC: Unidades Formadoras de Colônias

Foram utilizados micro silos de PVC com diâmetro de 10 cm e 50 cm de comprimento, equipados com uma válvula de abertura manual em uma das extremidades para retirada dos gases e dos efluentes produzidos durante o processo.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, cada silo constituiu uma repetição em cada bloco.

O preparo da forragem para ensilagem, foi realizado a partir do corte dos genótipos em ciclo de cana planta, no mês de setembro 2016, com intuito de obter o maior teor de sólidos solúveis. As plantas foram coletadas manualmente de forma

integral, sem destacar as folhas, e na sequência o material foi triturado em picador estacionário.

Os inoculantes foram diluídos conforme recomendação dos fabricantes e aplicados sobre a massa de forragem com auxílio de um borrifador, utilizando borrifadores distintos para cada inoculante. Posteriormente, a forragem foi colocada dentro de cada silo devidamente identificado, e compactada com auxílio de um bastão de madeira até densidade de compactação de aproximadamente 600 kg de forragem por m³. Após o fechamento dos silos as silagens foram armazenadas por um período de 54 dias

Na abertura dos silos, primeiramente foi descartada a camada superior de forragem, tendo em vista a possibilidade de contato com o ar dessa camada e conseqüentemente perda de qualidade do material ensilado. Depois foi retirada uma amostra de aproximadamente 600 g para realização das análises bromatológicas e da determinação do teor de umidade da silagem. Após secagem em estufa a 65° C as amostras foram moídas em moinho tipo Willey em peneira de 1 mm. Concomitantemente foi retirada uma amostra para prensagem e coleta do caldo das silagens para análise. Para este procedimento foi utilizada prensa hidráulica de acionamento manual marca TECNAL® modelo TE-097. O caldo obtido foi filtrado com algodão em funil de vidro, coletado em erlenmeyer e transferidas para tubos tipo falcon para as análises.

Foram realizadas avaliações de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose (CEL), hemicelulose (HEMI), lignina (LIG), sílica (SIL) utilizando método espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) e o teor de sólidos solúveis totais (SST) utilizando refratômetro digital.

As análises bromatológicas PB, FDN, FDA, CEL, HEMI, LIG, SIL, CZ e MS foram realizadas no Laboratório de Bromatologia e Nutrição Animal da Embrapa Clima Temperado localizado na Estação Experimental Terras Baixas (ETB).

A determinação de proteína bruta (PB) foi realizada pelo método de Kjeldahl conforme AOAC (1997). O método consiste em três etapas, são elas: digestão, destilação e titulação. Na digestão ocorre a oxidação da matéria orgânica e o nitrogênio é transformado em sulfato de amônio, na etapa da destilação por reação em meio alcalino e por ação do calor, o sulfato de amônio libera amônia, a qual é destilada, posteriormente a amônia é coletada em solução de ácido bórico, formando

borato de amônia. O borato de amônia formado é proporcional à quantidade de nitrogênio presente na amostra e é titulado com solução de ácido sulfúrico, logo o volume gasto na titulação é proporcional à quantidade de nitrogênio e através da equação descrita abaixo é obtido o teor de proteína na amostra. O fator de correção utilizada para transformação de nitrogênio em proteína foi de 6,25.

$$PB = (V-B) * N * (14,01) * (F) / APS$$

PB: Proteína Bruta em %

V: Volume gasto de H₂SO₄ na titulação

B: Volume gasto de H₂SO₄ na titulação do Branco

N: Normalidade do H₂SO₄ usado na titulação corrigido pela padronização

F: Fator de correção

APS: Peso da amostra antes da digestão

Para obtenção dos teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), foi utilizado o método de determinação baseado em Senger et al. (2008) no qual a digestão da amostra é realizada em autoclave utilizando sacos filtro de poliéster. No procedimento de determinação da FDN isola-se as frações celulose, hemicelulose e lignina, com pequenas contaminações de pectina, proteína e cinzas. Enquanto que o procedimento de determinação da FDA isola-se as frações celulose e lignina. A determinação foi realizada utilizando 500 mg de amostra seca e moída de silagem e 50 mL de solução de detergente por amostra, autoclavadas por 40 minutos a 110°C. Os teores de FDN e FDA foram calculados de acordo com as equações abaixo:

$$FDN (\%) = (APS - (SACO + APS) - (FDN + SACO)) \times 100 / APS$$

$$FDA (\%) = (APS - (SACO + APS) - (FDA + SACO)) \times 100 / APS$$

FDN: Fibra em Detergente Neutro

FDA: Fibra em Detergente Ácido

APS: Amostra Parcialmente Seca

O teor de hemicelulose (HEMI) foi obtido pela diferença entre os teores de FDN e FDA através da equação descrita a baixo.

$$HEMI = FDN - FDA$$

Para obtenção dos teores de lignina foi utilizada o método de determinação em detergente ácido com o uso de sacos filtro de maneira sequencial a FDA. Este método baseia-se no princípio da digestão da amostra em solução de detergente ácido específica obtendo a parte insolúvel por filtragem.

$$\text{LIG} = (\text{Saco} + \text{LDA} - (\text{Saco})) \times 100 / \text{APS}$$

Saco: Saco filtro de poliéster

LDA: Lignina em detergente ácido

APS: Amostra Parcialmente Seca

Os teores de celulose (CEL) foram obtidos pela diferença entre os teores de FDA e LIG, através da equação descrita a baixo.

$$\text{CEL} = \text{FDA} - \text{LIG}$$

Os teores de sílica (SIL) foram determinados através da incineração das amostras de (LIG) em forno mufla com temperatura aproximada de 550° C por 4 horas. A quantidade de material residual após a incineração foi considerada sílica obtida através da equação descrita abaixo.

$$\text{SIL} = ((\text{PC} + \text{CZ}) - \text{PC}) \times 100 / \text{APS}$$

CZ: Cinza em %

PC: Peso do cadinho vazio

PC + CZ: Peso do cadinho mais o peso da amostra após incineração

APS: Peso da amostra antes da secagem

O percentual de cinzas foi determinado através da incineração das amostras em forno mufla com temperatura aproximada de 550° C por 4 horas. A quantidade de material residual após a incineração foi considerada cinza, o que foi queimado é considerado como matéria orgânica conforme equação abaixo.

$$\text{CZ \%} = (\text{PC} - (\text{PC} + \text{CZ})) \times 100 / \text{APS}$$

CZ: Cinza em %

PC: Peso do cadinho vazio

PC + CZ: Peso do cadinho mais o peso da amostra após incineração

APS: Peso da amostra antes da secagem

A matéria seca da amostra foi determinada considerando o princípio que os componentes voláteis da amostra são removidos por evaporação causada pelo aquecimento em estufa a 105° por no mínimo 8 horas. A quantidade de material residual após a secagem foi considerada Matéria Seca.

$$MS \% = (PC - (PC + MS)) \times 100 / APS$$

MS: Matéria seca em %

PC: Peso do cadinho vazio

PC + MS: Peso do cadinho mais o peso da amostra após secagem

APS: Peso da amostra antes da secagem

Os teores de sólidos solúveis totais (SST), percentual de etanol na matéria seca e o potencial hidrogeniônico (pH) das silagens, foram determinados a partir da análise do caldo.

Os teores de SST foram determinados em refratômetro digital marca HANNA® modelo HI 96801, com compensação automática de temperatura entre 10 e 40 °C e precisão de ± 0,2% Brix.

As leituras de pH foram realizadas em pHmêtro portátil marca HANNA® modelo HI 98128, com compensação automática de temperatura entre -5 e 50 °C e precisão de ± 0,05 pH.

Os teores de etanol foram obtidos através da análise do caldo da silagem por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), realizada em equipamento marca SHIMADZU, modelo 20A, equipado com detector de índice de refração, coluna Aminex HPX-87H (BioRad), fase móvel H₂SO₄ 5 mM, fluxo 0,6 mL/min. As condições de análise foram: injeção de 20 µL, temperatura do detector a 40°C e temperatura do forno a 45 °C, realizadas no Centro de Análise de Combustíveis da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CECOM).

As análises de DIVMS foram realizadas em parceria com laboratório de análise de alimentos da Embrapa Gado de Leite em Juiz de Fora, MG, através do método descrito por Tilley; Terry, (1963).

Para a determinação da PMS, antecedendo a abertura dos silos, os mesmos foram pesados para obtenção do peso do conjunto (silo + silagem) no final do processo, permitindo subtração destes valores nos cálculos de determinação dos percentuais de perdas de massa durante o período de armazenamento da forragem.

A perda percentual de matéria seca (PMS) foi estimada pela diferença de peso bruto dos silos no início (PI) e no final (PF) do período de armazenamento, em relação à quantidade de MS no momento da ensilagem (MSI) e na abertura dos silos (MSF), descontando o peso do silo vazio (PS), conforme a equação.

$$PMS = \left(\frac{((PI - PS) \times MSI) - ((PF - PS) \times MSF)}{((PI - PS) \times MSI)} \right) \times 100$$

PMS: Perda percentual de matéria seca

PI: Peso bruto inicial no momento da ensilagem (silo + forragem)

PF: Peso bruto final no momento da abertura (silo + forragem)

PS: Peso do silo vazio

MSI: Matéria seca percentual da forragem inicial no momento da ensilagem

MSF: Matéria seca percentual da forragem final no momento da abertura

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e as médias quando significativas foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. O processamento de dados foi realizado com auxílio do *software* Genes (Cruz, 2013).

5.3. Resultados e Discussão

5.3.1 Caracterização dos genótipos utilizados na ensilagem

Os resultados referentes à composição químico-bromatológica dos seis genótipos de cana-de-açúcar antes processo de silagem, estão apresentados na Tabela 6, onde podem ser observados os teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA),

celulose (CEL), hemicelulose (HEMI), lignina (LIG), sílica (SIL) cinzas (CZ) e sólidos solúveis totais (SST).

Os teores de matéria seca do material inicial, apresentaram valor médio de 24,8%, resultados semelhantes foram encontrados por Freitas et al. (2006) onde o valor médio de MS foi de 24,4 %.

Quanto aos teores de proteína bruta antes do processo de silagem, o teor médio foi de 4,0 %, com variação de 3,3% a 4,5 %. Estes valores podem ser considerados ligeiramente elevados, quando comparados a outros estudos realizados com diferentes genótipos da cultura. Entretanto, Murano (2007) avaliando espaçamento, número de cortes e idades de cortes encontrou uma maior variação nos teores de PB, com valores entre 3,47% e 6,18% para uma mesma variedade. (RB72-454).

Tabela 6 – Caracterização de genótipos de cana-de-açúcar quanto aos teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose (CEL), hemicelulose (HEMI), lignina (LIG), sílica (SIL) cinzas (CZ) e sólidos solúveis totais (SST) antes do processo de silagem.

Genótipo	MS %	% MS						SST ° Brix
		PB	FDN	FDA	HEMI	LIG	CEL	
PRBIO329	26,8	4,0	62,0	38,5	23,5	4,8	33,7	16,9
PRBIO379	24,9	4,4	60,1	37,2	22,8	5,0	32,3	17,8
RB006995	27,3	3,9	51,8	33,8	18,0	4,4	29,4	20,3
RB106819	21,8	4,5	55,8	37,4	18,4	4,3	33,0	20,7
RB106818	22,2	3,8	58,2	37,5	20,7	5,3	32,2	19,7
RB106822	25,8	3,3	49,7	33,8	15,9	3,3	30,5	21,4
Média	24,8	4,0	56,3	36,4	19,9	4,5	31,9	19,5

Os teores médios de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), hemicelulose (HEMI), lignina (LIG) e celulose (CEL) obtidos nesta análise inicial dos genótipos correspondem aos intervalos de variação citados por Anjos; Silva e Campana (2008), demonstrando que os resultados das análises realizadas neste estudo são plausíveis com os resultados esperados para a cultura da cana-de-açúcar.

O teor de sólidos solúveis totais (SST) foi de aproximadamente 20 °Brix para os genótipos do grupo RB, enquanto que os genótipos do grupo PRBIO obtiveram teor de SST de 16,9 e 17,8° Brix. Estes comportamentos distintos quanto ao acúmulo de açúcar são característicos para os dois grupos, uma vez que os

genótipos PRBIO são oriundos de seleções para maior percentual de fibra e biomassa, enquanto que os genótipos do grupo RB são desenvolvidos buscando maiores teores de açúcar.

5.3.2 Caracterização da silagem

Os resultados referentes às análises químico-bromatológicas das silagens apresentaram interação significativa ($p < 0,05$) entre genótipo e inoculante para as variáveis MS, FDN, FDA, CEL, HEMI, CZ, DIVMS, SST, PMS, pH e Etanol, enquanto que as variáveis PB, LIG e SIL não foram influenciadas pelos tratamentos com inoculantes.

Em relação ao pH (Tabela 7), independente da inoculação, os menores valores foram observados para as silagens realizadas a partir do genótipo RB106822, obtendo o valor de 3,6 na média dos três tratamentos, não apresentando efeito do uso de inoculantes para este genótipo. Entretanto, para os genótipos PRBIO379 e RB106819 foi observado efeito do uso de inoculantes nos valores de pH das silagens, uma vez que, para o PRBIO379 o inoculante comercial 2 apresentou menor pH que o inoculante comercial 1, porém ambos não diferiram da testemunha sem inoculante (I0), enquanto que para o RB106819 foi observado o efeito contrário, onde menor valor foi obtido no I1 comparado ao tratamento I2, e neste caso também o tratamento controle.

De acordo com McDonald et al. (2002) as silagens caracterizam-se por ter baixos teores de pH, usualmente na faixa de 3,7 a 4,2. Considerando o intervalo citado e transformando os valores obtidos no presente estudo para uma casa decimal após a vírgula, observa-se que a maioria dos tratamentos realizados nas silagens apresentaram valores de pH esperado para a cultura. Apenas o genótipo RB106822 para todos os tratamentos ficou abaixo do intervalo citado, porém estes valores foram muito próximos do limite inferior da faixa, onde a maior diferença obtida entre o valor encontrado e o intervalo citado foi de apenas 0,1 unidade de pH.

Baixos valores de pH atuam inibindo ou controlando o desenvolvimento de microrganismos prejudiciais nas silagens, como as bactérias do gênero *Clostridium*, sensíveis a valores de pH abaixo de 4,0 (WHITTENBURY; McDONALD; BRYAN-JONES, 1967). No entanto as leveduras não são inibidas nas silagens pelo baixo pH, podendo estas serem encontradas em faixas de pH variando de 3,0 a 8,0, sendo determinadas espécies capazes de sobreviver em pH inferior 2,0 (MCDONALD et

al., 1991). Ou seja, somente baixos valores de pH não garantem a qualidade das silagens, podendo estas apresentarem atividade de leveduras, resultando em produção de etanol e conseqüentemente perda de matéria seca.

O teor de sólidos solúveis totais (SST), medido em °Brix, é o parâmetro que representa o percentual peso/peso de sólidos contido na solução, podendo este ser considerado uma medida indireta do teor de sacarose (FERNANDES, 2003).

Quanto aos teores de SST determinados no caldo das silagens, observa-se que houve efeito do uso de inoculantes para este parâmetro, uma vez que o inoculante 2 foi superior ao inoculante 1, nos genótipos PRBIO329 e RB106822. No entanto, em ambos genótipos I2 não diferiu estatisticamente da testemunha (I0). O comportamento inverso foi observado no genótipo RB006995, em que o inoculante 1 superou a testemunha I0, porém não diferiu de I2. Foi observado também efeito dos genótipos no teor de SST do caldo da silagem em cada tratamento utilizado, onde no tratamento controle o genótipo RB106822 apresentou teor de SST maior que o genótipo PRBIO379, enquanto que no inoculante 1 os genótipos RB006995 e RB106819 superaram os demais genótipos com exceção do RB106818, visto que para o inoculante 2 o RB106818 só não superou em teor de SST o RB006995.

Com teores de SST variando de 7,9 a 13,9 °Brix as silagens de cana-de-açúcar avaliadas neste trabalho, ainda que tenham apresentando redução nos teores de SST durante o processo de ensilagem em comparação aos teores iniciais (Tabela 6) apresentaram consideráveis teores de açúcares em sua composição.

Tabela 7 – Genótipos de cana-de-açúcar e seus teores de potencial hidrogeniônico (pH), sólidos solúveis totais (SST) e percentual de etanol na matéria seca, em silagens com inoculantes e sem inoculantes.

Genótipo	pH				SST (° Brix)				Etanol (% MS)			
	I0	I1	I2	Média	I0	I1	I2	Média	I0	I1	I2	Média
PRBIO329	3,89 a* A	3,96 a A	3,92 a A	3,92	10,6 ab A	7,9 d B	10,4 b A	9,6	1,8 b B	5,7 a A	1,9 c B	3,2
PRBIO379	3,82 ab AB	3,86 b A	3,75 bc B	3,81	9,6 b A	8,3 cd A	7,9 c A	8,6	3,0 ab B	6,2 a A	2,7 bc B	4,0
RB006995	3,73 c A	3,68 cd A	3,71 c A	3,71	11,0 ab B	13,5 a A	11,6 ab AB	12,1	4,9 a A	4,5 a A	5,1 ab A	4,8
RB106819	3,85 ab A	3,75 c B	3,83 b A	3,81	11,8 ab AB	13,4 a A	11,2 b B	12,1	5,0 a A	5,1 a A	6,9 a A	5,7
RB106818	3,79 bc A	3,76 c A	3,78 bc A	3,78	11,2 ab A	10,5 bc A	11,1 b A	10,9	3,8 ab A	5,2 a A	4,8 ab A	4,6
RB106822	3,61 d A	3,61 d A	3,62 d A	3,61	13,0 a AB	11,5 ab B	13,9 a A	12,8	5,6 a AB	7,2 a A	4,7 abc B	5,8
Média	3,78	3,77	3,77	3,77	11,2	10,9	11,0	11,0	4,0	5,6	4,4	4,7

I0 - sem inoculante; I1 - inoculante comercial 1; I2 - inoculante comercial 2.

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para os teores de etanol, as silagens submetidas ao tratamento com inoculante 2 apresentaram comportamento similar as silagens sem uso de inoculante (I0), uma vez que estes tratamentos não diferiram estaticamente entre si para nenhum dos genótipos analisados. Enquanto que, as silagens submetidas ao tratamento com I1 apresentaram teores percentuais de etanol maior ou igual à silagem sem aditivo, desta forma o uso deste inoculante apresentou ausência de efeito ou efeito negativo na inibição de leveduras durante o processo, acarretando em produção de etanol.

Nas silagens tratadas com inoculante 1 não houve diferenças significativas entre os genótipos para os percentuais de etanol em relação à MS, enquanto que para as sem aditivos (I0) o genótipo PRBIO329 apresentou menor teor que os RB006995, RB106818 e RB106822, já as silagens tratadas com inoculante 2 o genótipo PRBIO329 obteve menor teor de etanol que no RB106819. Estes resultados de menor produção do PRBIO329 nos tratamentos I0 e I2 podem estar associados ao menor teor de SST deste genótipo antes da ensilagem (Tabela 6), resultando em menor quantidade de substrato (açúcares) para transformação em etanol pelas leveduras.

Segundo Schmidt (2006), apesar do elevado valor energético do etanol, este resulta em significativa perda energética da forragem, além de sua presença causar rejeição ao consumo do alimento pelos animais.

Os valores de etanol obtidos neste estudo variaram entre 1,8% e 7,25% podendo estes ser considerados baixos quando comparado aos citados na literatura KUNG JR; STANLEY, 1982; PEDROSO et al., 2005). Estes autores observaram teores de etanol de 7,9 a 15,5% na MS de silagens de cana-de-açúcar colhida aos 12 meses e sem uso de nenhum tratamento.

Randby; Selmer-Olsen; Baevre (1999) analisando o efeito da suplementação de gramíneas tropicais com etanol (5,8 % na MS), sobre o consumo e produção de leite de vacas holandesas, observaram que não houve efeito do etanol no consumo de MS e produção de leite.

Analisando os resultados referentes aos teores de matéria seca (Tabela 8), observa-se que as silagens tratadas com o inoculante I1 para o genótipo PRBIO329 apresentaram teores de MS menores que o controle (I0), e inoculante 2, da mesma forma isto ocorreu para o genótipo RB106822, no entanto, este foi menor apenas que o inoculante 2.

Observa-se também quanto aos teores de MS que o genótipo que apresentou os maiores teores simultaneamente em todos os tratamentos foi o PRBIO329, sendo este o único com média geral dos tratamentos superior a 21%. Esta resposta está provavelmente associada ao elevado teor de MS inicial deste genótipo em comparação aos demais genótipos (Tabela 6). Além do PRBIO329 outros genótipos também apresentaram elevados teores de MS em I0, sendo estes os genótipos RB006995 e RB106818, no entanto em I1 estes foram maiores apenas ao RB106822.

Os teores de MS obtidos nas silagens variaram entre 17,5% e 21,3%, este intervalo de variação foi maior que o observado por Ribeiro et al. (2010) que obteve valores de 18,1% e 19,4% na silagem controle. Teores ainda maiores foram observados por Pedroso (2003) que obteve valor médio em silagem sem aditivo em dois experimentos com 26,7% de MS.

Em relação ao efeito dos inoculantes nas silagens quanto à digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), observa-se que houve uma redução nos percentuais para genótipo PRBIO379 nas silagens tratadas com inoculante 1 quando comparadas ao controle (I0), enquanto que no genótipo RB106819 a redução se deu nas silagens tratadas com inoculante 2, quando comparado aos demais tratamentos. Tendo em vista que quando houveram diferenças significativas entre os tratamentos com inoculantes e o controle, estas foram para menor, pode-se constatar que os inoculantes utilizados neste estudo não contribuíram para qualidade das silagens em relação a DIVMS.

Tabela 8 - Teores de matéria seca (MS), digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) e perdas de matéria seca (Perda MS) para silagens de genótipos de cana-de-açúcar com inoculantes e sem inoculantes.

Genótipo	Matéria Seca (%)				DIVMS (%)				Perda MS (%)			
	I0	I1	I2	Média	I0	I1	I2	Média	I0	I1	I2	Média
PRBIO329	22,3 a A	19,7 a B	22,2 a A	21,4	50,8 c A	47,6 c A	50,6 b A	49,9	9,8 d B	22,2 b A	13,0 cd B	15,0
PRBIO379	18,6 b A	18,6 ab A	18,2 c A	18,4	56,7 abc A	50,7 bc B	51,7 b AB	52,7	25,7 ab AB	22,9 ab B	31,1 a A	26,5
RB006995	21,3 a A	20,0 a A	20,5 ab A	20,6	52,0 bc A	54,7 ab A	51,9 b A	52,6	19,0 bc A	22,2 b A	24,1 ab A	21,8
RB106819	17,7 b A	18,4 ab A	18,1 c A	18,1	59,3 a A	60,8 a A	52,9 ab B	56,5	17,2 cd A	9,0 c B	19,7 bc A	15,3
RB106818	20,6 a A	19,9 a A	20,3 b A	20,3	53,8 abc A	53,1 bc A	53,8 ab A	53,6	9,1 d A	9,5 c A	8,8 d A	9,1
RB106822	18,5 b AB	17,5 b B	19,7 bc A	18,6	57,4 ab A	54,1 b A	58,9 a A	57,3	31,5 a A	31,0 a A	23,8 ab B	28,7
Média	19,8	19,0	19,8	19,6	55,0	53,5	53,3	53,8	18,7	19,4	20,1	19,4

I0 - sem inoculante; I1 - inoculante comercial 1; I2 - inoculante comercial 2.

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para o tratamento controle, o genótipo RB106819 com 59,3%, apresentou maior percentual de DIVMS que os genótipos PRBIO329 e RB006995 com 50,9% e 52,0% respectivamente. Para o inoculante 1, o genótipo RB106819 obteve maior valor com 60,8% exceto quando comparado ao RB006995 com 54,7%, enquanto que para as silagens tratadas com o inoculante 2 o genótipo RB106822 com 58,9% apresentou maior valor percentual que os genótipos PRBIO329, PRBIO379 e RB006995 com respectivos valores de 50,6%, 51,7% e 51,9%.

Os teores de DIVMS obtidos neste estudo podem ser considerados elevados quando comparados aos citados na literatura. Ferreira et al., (2007) avaliando as características fermentativas de silagens de cana-de-açúcar encontrou DIVMS de 46,5% aos 56 dias de ensilagem para a variedade RB72454. Enquanto Santos (2007) obteve valores de 48,7% de DIVMS em silagens sem aditivos.

No que se refere ao controle nas perdas de matéria seca, pode se observar que quando comparados ao tratamento controle cada inoculante apresentou efeito em apenas um dos seis genótipos avaliados. Sendo estes o RB106819 para o inoculante 1 e o RB106822 para o inoculante 2. Enquanto que, comparando entre tratamentos, as silagens com I1 foram mais eficientes que as com I2 para o genótipo PRBIO379 e o I2 foi mais eficiente que I1 para o genótipo PRBIO329, visto que não houve efeito de inoculantes para os genótipos RB006995 e RB106818.

O genótipo que proporcionou os menores teores percentuais de perdas de MS concomitantemente em todos os tratamentos (I0, I1 e I2) foi o genótipo RB106818, com média geral para os tratamentos de 9,1% sendo o único abaixo de 10% de perdas, no entanto, valores que não diferiram deste genótipo foram encontrados isoladamente em cada tratamento, sendo no controle os genótipos PRBIO329 e PRBIO379, já no inoculante 1 foi apenas o RB106819 e no inoculante 2 novamente o PRBIO329. Nota-se com isso, que com exceção do RB106818 os genótipos apresentaram respostas específicas em função dos tratamentos realizados nas silagens quantos as perdas de MS.

As reduções nos teores de MS observadas nas silagens podem estar associadas a diversos fatores, como perdas por efluentes durante o processo de ensilagem, perda de água através das reações metabólicas (MCDONALD et al.,1991), diminuição do conteúdo celular durante o processo fermentativo (WOOLFORD, 1984) e por ação de leveduras durante o processo de ensilagem resultando em produção de etanol e perda de MS.

Comparando o efeito do uso dos inoculantes para os teores de fibra em detergente neutro (FDN) no tratamento das silagens (Tabela 9), observa-se que ambos os inoculantes (I1 e I2) não proporcionaram teores de FDN menores que as silagens controle (I0), visto que quando houve diferenças estatísticas entre os tratamentos os mesmos superaram as silagens não inoculadas. Avaliando as repostas dos genótipos em cada um dos tratamentos observa-se que para o inoculante comercial 1 a menor média foi obtida pelo genótipo RB106819, enquanto que para o inoculante comercial 2 o genótipo RB106822 não diferiu do RB106819, no entanto, para os demais genótipos este apresentou os menores teores de FDN. Para o tratamento controle o RB106819 não diferiu do RB106822, no entanto, quando comparado aos demais apresentou menor valor.

De modo geral os teores de FDN obtidos nas silagens do presente estudo estão de acordo com os teores citados na literatura. Santos (2004) observou teores de 70,36% de FDN na MS em cana-de-açúcar ensilada sem aditivo. Roth et al. (2005) encontraram teores ainda maiores com 75% de FDN na MS em silagem de cana-de-açúcar cortada aos 15 meses de crescimento. Porém ainda assim estes teores podem ser considerados elevados quando comparados ao observado por Freitas (2013) com 47,04 % de FDN na MS em silagem de cana tratada com inoculante bacteriano.

Teores elevados de FDN são esperados em silagem de cana-de-açúcar uma vez que, segundo Rutz; Muck (1994), durante o processo de ensilagem perdas de carboidratos solúveis por respiração e fermentação indesejada provocam aumento da participação percentual da fração fibrosa na forragem. No entanto é interessante que as silagens apresentem os menores teores de FDN possíveis, devido a sua correlação inversa com ingestão de MS (VAN SOEST, 1982).

Os menores teores de FDA (Tabela 9) encontrados no tratamento controle (I0) foram observados para os genótipos RB106819 e RB106822. Já para o inoculante 1, com exceção do RB106822, os demais genótipos apresentaram menores teores de FDA que o RB106819, no inoculante 2 também não houve diferença entre estes dois genótipos, no entanto o que foi menor comparado aos demais neste caso foi o RB106822.

O inoculante que apresentou maior percentual de FDA para o genótipo PRBIO329 foi o I1 com 60,8% na MS, frente aos tratamentos I2 e controle, enquanto que para o genótipo RB106819 comparando entre os inoculantes comerciais (I1 e I2)

foi observado maior percentual para o tratamento I2, no entanto ambos não deferiram da testemunha (I0), para os demais genótipos não houve diferença entre tratamentos.

De modo geral, os teores de FDA obtidos nas silagens avaliadas neste estudo foram elevados quando comparado com os obtidos por Santos (2007), com teores de 43,78% de FDA em silagem sem aditivos, no entanto, Siqueira (2005) encontrou valores mais próximos aos do presente estudo, obtendo 48,7% de FDA em silagem sem uso de aditivos. Como já discutido anteriormente para os teores de FDN, tal fato provavelmente está associado às perdas durante o processo de ensilagem e consequentemente aumento da participação desta fração na MS. De acordo com Mertens (1982), silagens com menores teores de FDA possuem melhor qualidade, pois este componente da parede celular é inversamente correlacionado com a digestibilidade da MS.

Tabela 9 - Genótipos de cana-de-açúcar e seus teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e cinzas (CZ), em silagens com inoculantes e sem inoculantes.

Genótipo	FDN (% MS)				FDA (% MS)				CZ (% MS)			
	I0	I1	I2	Média	I0	I1	I2	Média	I0	I1	I2	Média
PRBIO329	71,9 a* B	77,0 a A	71,5 ab B	73,4	56,1 a B	60,9 a A	56,5 a B	57,8	4,1 a A	4,1 a A	3,9 a A	4,0
PRBIO379	67,8 ab B	73,6 ab A	74,4 a A	71,9	53,6 a A	55,3 b A	57,4 a A	55,4	3,5 b A	4,1 a B	3,6 a AB	3,7
RB006995	70,5 a A	69,3 bc A	69,6 ab A	69,8	55,6 a A	52,9 bc A	53,2 ab A	53,9	2,9 cd A	2,5 c A	2,7 b A	2,7
RB106819	62,1 c B	59,8 d B	66,8 bc A	62,9	47,8 b AB	44,8 d B	50,8 bc A	47,8	3,5 bc A	2,6 bc A	3,1 b B	3,1
RB106818	71,3 a A	72,4 ab A	70,7 ab A	71,4	54,1 a A	56,4 ab A	54,0 ab A	54,8	3,0 bcd A	3,1 b A	3,0 b A	3,0
RB106822	63,9 bc AB	66,7 c A	61,3 c B	64,0	48,1 b A	49,8 cd A	46,1 c A	48,0	2,7 d A	3,0 bc A	2,7 b A	2,8
Média	67,9	69,8	69	68,9	52,5	53,3	53	53	3,3	3,2	3,2	3,2

I0 - sem inoculante; I1 - inoculante comercial 1; I2 - inoculante comercial 2.

* Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Quanto aos teores de cinzas (CZ), o genótipo que apresentou maior teor no tratamento controle foi o PRBIO329, enquanto que para as silagens tratadas com os inoculantes I1 e I2 este mesmo genótipo juntamente com o PRBIO379 apresentaram os maiores valores de CZ (Tabela 9). O efeito do uso dos inoculantes para este parâmetro foi observado apenas para os genótipos PRBIO379 e RB106819, visto que no primeiro genótipo, o inoculante 1 apresentou menor teor de CZ quando comparado ao tratamento controle, no entanto não diferiu de I2, enquanto que para o genótipo RB106819 o menor teor de CZ entre os três tratamentos foi observado para o I2.

Os teores de cinzas obtidos foram baixos quando comparados aos resultados obtidos em outros estudos com a cultura da cana-de-açúcar na forma de silagem. Para as silagens neste estudo avaliadas, a faixa de variação para este parâmetro foi de 2,6% a 4,1%. Valeriano (2007) avaliando aditivos bacterianos na ensilagem da cana-de-açúcar encontrou teores de CZ (% na MS) variando de 4,84% a 5,69%, com teor de 5,21% para a silagem controle. Enquanto que Lopes (2006) avaliando a qualidade de silagens de cana-de-açúcar elaborada com diferentes aditivos obteve o teor médio de CZ de 4,86% para a silagem controle.

Os genótipos que apresentaram menores percentuais de celulose na MS (Tabela 10) para a silagem controle (I0) foram os RB106818 e RB106822, enquanto que no I1 este comportamento ocorreu no genótipo RB106819. Já em I2 com exceção do RB106819, o genótipo RB106822 apresentou o menor teor percentual de CEL na MS. Ao analisar o efeito dos inoculantes nas silagens, o inoculante 1 foi o único que apresentou redução do teor deste parâmetro em percentual quando comparado ao controle (I0), no entanto isto ocorreu apenas no genótipo RB006995, sendo que as demais diferenças foram observadas somente entre os inoculantes comerciais (I1 e I2), porém estas não foram positivas, visto que foram sempre superiores as silagens sem inoculante (I0).

Tabela 10 - Genótipos de cana-de-açúcar e seus teores de celulose (CEL), hemicelulose (HEMI) e lignina (LIG) em silagens com inoculantes e sem inoculantes.

Genótipo	CEL (% MS)				HEMI (% MS)				LIG (% MS)			
	I0	I1	I2	Média	I0	I1	I2	Média	I0	I1	I2	Média
PRBIO329	44,8 a* B	48,5 a A	45,7 a AB	46,3	15,8 ab A	16,1 ab A	15,0 a A	15,6	11,4	12,9	11,6	12,0 a
PRBIO379	43,1 a A	44,4 abc A	46,2 a A	44,6	14,2 b B	18,2 a A	17,0 a A	16,5	10,5	11,2	11,0	10,9 ab
RB006995	45,6 a A	41,9 bc B	42,3 ab AB	43,3	14,9 ab A	16,4 ab A	16,4 a A	15,9	10,4	11,0	11,2	10,9 ab
RB106819	38,2 b AB	36,1 d B	40,0 bc A	38,1	14,2 b A	15,0 b A	16,0 a A	15,1	9,7	8,7	10,9	9,7 b
RB106818	43,9 a A	45,9 ab A	44,2 ab A	44,7	17,2 a A	16,0 ab A	16,7 a A	16,6	10,2	10,5	9,9	10,2 ab
RB106822	37,8 b AB	41,0 c A	37,1 c B	38,6	15,9 ab A	16,9 ab A	15,2 a A	16,0	9,9	10,4	9,5	9,9 b
Média	42,2	43	42,6	42,6	15,4	16,4	16	15,9	10,3	10,8	10,7	10,6

I0 - sem inoculante; I1 - inoculante comercial 1; I2 - inoculante comercial 2.

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para os teores de hemicelulose apresentado na Tabela 10 observa-se efeito do uso dos inoculantes apenas no genótipo PRBIO329, o qual apresentou maiores teores deste parâmetro para as silagens tratadas com inoculantes comerciais (I1 e I2), quando comparadas as silagens não inoculadas (I0). Quanto ao comportamento dos genótipos em cada tratamento para os teores de HEMI, a silagem sem inoculantes (I0) apresentou o maior teor no genótipo RB106818 quando comparado aos genótipos PRBIO379 e RB106819, enquanto que em I1 o genótipo PRBIO379 foi maior que o RB106819, porém para o I2 não houve diferença significativa para nenhum dos genótipos.

Segundo Van Soest (1994), a fração fibra em detergente neutro (FDN) em forragens é compreendida pelas frações hemicelulose, celulose lignina e sílica, enquanto que fração FDA é constituída de celulose, lignina e sílica.

Os microrganismos do rúmen possuem a capacidade de fermentar a celulose e a hemicelulose, no entanto à medida que aumenta os teores de lignina o grau de fermentação diminui (SILVA, 1993). Desta forma o parâmetro mais importante para avaliar a qualidade das silagens em relação a esses três componentes da fração fibrosa é a lignina.

Não foi observado efeito do uso de inoculantes nos teores de lignina das silagens realizadas no presente estudo. No entanto o genótipo PRBIO329 apresentou maior teor percentual médio dos tratamentos para este parâmetro com 12,0%, quando comparado aos genótipos RB106818 e RB106822 com respectivos percentuais de 9,7 e 9,9. Os demais genótipos não se diferenciaram de nenhum outro avaliado neste estudo sendo o teor médio dos genótipos de 10,5%.

Lopes (2006) avaliando a qualidade de silagens de cana-de-açúcar elaborada com diferentes aditivos obteve teor médio de LIG na silagem controle de 11,9% na MS. Entretanto o teor de lignina apresentado por Valadares Filho et al. (2018), é de 8,08% na MS para silagem de cana-de-açúcar. Considerando os autores citados, os valores de LIG obtidos no presente estudo ficaram dentro da faixa de variação esperada para as silagens confeccionada a partir da cultura da cana-de-açúcar

Para a variável PB não houve efeito significativo de ambas as fontes de variação testadas (genótipo e inoculante). O teor médio de PB dos genótipos testados foi de 4,2% e a maior variação encontrada entre as médias foi de apenas 0,6% entre os genótipos PRBIO329 e RB106822 com os respectivos teores de PB 3,9% e 4,5%, no entanto não foi observada separação de médias pelo teste de

Tukey. Siqueira et al. (2012) em trabalho realizado com associação de aditivos químicos e bacterianos na silagem de cana-de-açúcar obteve teor médios de PB na abertura dos silos de 4,1%. Lopes (2006) avaliando a qualidade de silagem de cana-de-açúcar elaborada com diferentes aditivos, encontrou 4,05% de PB para a silagem sem aditivo. No entanto, quando comparado os teores de PB das silagens apresentados na Tabela 11, com os teores iniciais da forragem ensilada (Tabela 6), observa-se um acréscimo nos teores médios de PB dos genótipos RB106818 e RB106822. Este comportamento pode estar associado à concentração deste nutriente na MS, em decorrência das perdas de carboidratos solúveis por respiração durante o processo de fermentação característico das silagens. De acordo com Rotz; Muck (1994) os teores de PB podem sofrer elevações de 1% a 2% na MS devido a esse processo.

Tabela 11 – Genótipos de cana-de-açúcar e seus teores de proteína bruta (PB) e sílica (SIL) em silagens com inoculantes e sem inoculantes.

Genótipo	PB (% MS)			Média	SIL (% MS)			Média
	I0	I1	I2		I0	I1	I2	
PRBIO329	4,1	3,9	3,8	3,9 a*	1,0	1,2	1,3	1,1 a
PRBIO379	3,9	4,3	4,0	4,1 a	0,8	1,2	1,2	1,1 a
RB006995	4,0	4,1	4,1	4,1 a	1,0	0,9	0,9	0,9 a
RB106818	4,5	4,4	4,5	4,4 a	1,1	0,9	1,0	1,0 a
RB106819	4,5	4,2	4,0	4,3 a	0,9	0,7	1,0	0,9 a
RB106822	4,2	4,8	4,4	4,5 a	0,8	0,9	0,8	0,8 a
Média	4,2	4,3	4,1	4,2	0,9	1,0	1,0	1,0

I0 - sem inoculante;. I1 - inoculante comercial 1; I2 - inoculante comercial 2.

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para os teores percentuais de sílica na MS também não foi verificado efeitos significativos para genótipos e inoculante, observando-se valor médio para esta variável de 1,0%. O valor médio obtido foi maior que os relatados para silagem de cana-de-açúcar nas tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos, com 0,59% na MS (VALADARES FILHO et al., 2018).

5.4. Conclusões

O uso de inoculantes não melhora os valores de digestibilidade das silagens para os genótipos avaliados.

O genótipo RB106818 apresentou maior qualidade para ensilagem com base nos teores de fibra e digestibilidade.

6. Considerações Finais

Elevadas produtividades de biomassa da cana-de-açúcar, associada a variabilidade existente quanto a sua composição motivaram a realização desse estudo, visando selecionar genótipos com qualidade para alimentação animal e produção de etanol de segunda geração.

Neste trabalho verificou-se variabilidade não só para produção da biomassa, mas também para outras características na composição bromatológica como proteína, açúcares e fibras.

De modo geral, os inoculantes não apresentaram melhora na qualidade da silagem, quando comparados a silagem não inoculada.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que a silagem de cana-de-açúcar pode apresentar boa qualidade como um volumoso energético. Em geral todos os parâmetros avaliados apresentaram índices satisfatórios. É importante salientar que, apesar dos resultados serem de apenas de um ano, o potencial apresentado pela cultura para alimentação animal, justifica a continuidade destes estudos, utilizando inoculantes com outras composições.

No que se refere à produção de biomassa para produção de etanol celulósico os genótipos apresentaram elevados rendimentos teóricos de etanol, indicando que o potencial produtivo de etanol de segunda geração, pode superar o de primeira geração.

Os resultados indicam também a possibilidade de desenvolver variedades de duplo propósito, para produção de energia e alimentação animal, o que torna a intensificação dos estudos acerca da cultura fundamental para este objetivo.

Referências

ANJOS, I. A.; SILVA, D. N.; CAMPANA, M. P. Cana-de-açúcar como forrageira. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Eds). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. cap. 33, p. 731- 733.

ANP – **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Disponível em: <www.anp.org.br> Acesso em: 05/02/2018.

ANTUNES, W. R.; SCHÖFFEL, E. R.; DOS ANJOS, S. D.; EICHOLZ, E.; HÄRTER, A. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de clones de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 2, p. 142-148, 2016.

BERNARDES T. F. **Características fermentativas, microbiológicas e químicas do capim-marandu (Brachiaria brizantha (Hochst ex. a. Rich) Stapf cv. Marandu) ensilado com polpa cítrica peletizada**. 2003. 118 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

BOIN, C. Cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes. In: D.ARCE; R.D.; BOIN, C. **Utilização de resíduos agroindustriais da cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes**. Piracicaba: FEALQ, 1985. p.19-52.

CANILHA, L.; MILAGRES, A. M. F.; SILVA, S. S.; SILVA, J. B. A.; FELIPE, M. G. A.; ROCHA, G. J. M.; FERRAZ, A; CARVALHO, W. Sacarificação da biomassa lignocelulósica através de pré-hidrólise ácida seguida por hidrólise enzimática: uma estratégia de “desconstrução” da fibra vegetal. **Revista Analytica**, v. 44, p. 48-54, 2010.

CANILHA, L.; CHANDEL, A.K.; MILESSI, T.S.S.; ANTUNES, F.A.F.; FREITAS, W.L.C.; FELIPE, M.G.A.; SILVA, S.S. da. Bioconversion of Sugarcane Biomass into Ethanol: An Overview about Composition, Pretreatment Methods, Detoxification of Hydrolysates, Enzymatic Saccharification, and Ethanol Fermentation. **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, 1–15, 2012.

CARDOSO, L. L. **Silagem de cana-de-açúcar tratada com aditivos químicos e microbianos: composição química e desempenho de vacas em lactação**. 2013. 54p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

CARDOSO, M. M. C. **Potencial forrageiro de variedades de cana-de-açúcar para alimentação de ruminantes**. 2005. 59p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2005.

CASTRO, A. M.; PEREIRA JR, N. Produção, propriedades e aplicação de celulases na hidrólise de resíduos agroindustriais. **Química Nova**, v. 33, n. 1, p. 181-188, 2010.

CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013

CRUZ, L. R.; GERASEEV, L. C.; DO CARMO, T. D.; SANTOS, L. D. T.; BARBOSA, E. A.; COSTA, G. A.; DOS SANTOS JUNIOR, A. Características agronômicas e composição bromatológica de variedades de cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 6, 2014.

DE MEDEIROS, S. R.; MARINO, C. T. Proteínas na nutrição de bovinos de corte. **Embrapa Gado de Corte-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2015.

DEMIRBAS, M. F. Bioefineries for biofuel upgrading: A critical review. **Appl. Energ.** v. 86, p. S151-S161, 2009.

FABRIS, L.B. **Variedades de cana forrageira e sucroalcooleira em diferentes espaçamentos e adubação nitrogenada**. 2009. 32p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade do Oeste Paulista. Presidente Prudente, 2009.

FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 2.ed. Piracicaba: STAB, 2003. 240p.

FERREIRA, D. A.; GONÇALVES, L. C.; MOLINA, L; R.; CASTRO NETO, A. G.; TOMICH, T.R. Características de fermentação da silagem de cana-de-açúcar tratada com uréia, zeólita, inoculante bacteriano e inoculante bacteriano/enzimático. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, n. 2, p. 423-433, 2007.

FRANÇA, A. F. S.; MELLO, S. Q. S.; ROSA, B.; BORJAS, A. R.; MUNDIM, S. P.; MAGALHÃES, M. R. F.; MATOS, T. R. A.; REIS, J. G. Avaliação do potencial produtivo e das características químico-bromatológicas de nove variedades de cana-de-açúcar irrigada. **Livestock Research for Rural Development**, v.17, 2005.

FREITAS, A. W.; PEREIRA, J. C.; ROCHA, F. C.; DETMANN, E.; BARBOSA, M. H. P.; RIBEIRO, M. D.; COSTA, M. G. Avaliação da divergência nutricional de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 35, n. 1, p. 229-236, 2006.

FREITAS, A.W.P. **Avaliação da qualidade nutricional de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) e de sua silagem com diferentes aditivos**. 2005. 100p. Tese (Doutorado em zootecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

FREITAS, F. M. C. **Utilização de aditivos na ensilagem de cana-de-açúcar**. 2013. 53 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

GOODING, E. G. B. Effect of quality of cane on its value as livestock feed. **Tropical Animal Production**, v 7, n.1, p72-91, 1982.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G.A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, v.2, p.171-182, 2001.

KUNG JR, L.; STANLEY, R. W. Effect of stage of maturity on the nutritive value of whole-plant sugarcane preserved as silage. **Journal of Animal Science**, v. 54, n. 4, p. 689-696, 1982.

LOPES, J. **Qualidade da silagem de cana-de-açúcar elaborada com diferentes aditivos**. 2006. 98 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

McDONALD, P.M.; EDWARDS, R.A.; GREENHALGH, J.F.D.; MORGAN, C.A. **Animal nutrition**. Harlow, UK: Pearson, 2002. 693p.

McDONALD,P.; HENDERSON, A.R.; HERSON,S.J. **Biochemistry of silage**. 2.ed. Marlow: Chalcombe, 1991. 340 p.

MERTENS, D.R. Using neutral detergent fiber to formulate dairy rations. In: NUTRITION CONFERENCE PROCESS GANT CONFERENCE FOR THE FEED INDUSTRY, 1982, Athens. **Proceedings...** Athens: University of Georgia, 1982. p.116-126.

MOLINA, L. R.; FERREIRA, D. A.; GONÇALVES, L. C.; NETO, A. G. C.; RODRIQUEZ, N. M. Padrão de fermentação da silagem de cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE

BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. **Anais...** Recife: SBZ, 2002. CD-ROM.

MURANO, G. **Impacto do espaçamento, número de cortes e idade de corte na produção e composição bromatológica de cana-de-açúcar para silagem.** 2007. 77p. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

NAIK, S. N.; GOUD, V. V.; ROUT, P. K.; DALAI, A. K. Production of first and second generation biofuels: a comprehensive review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 14, n. 2, p. 578-597, 2010.

NUSSIO, L. **Avaliação nutricional da cana-de-açúcar submetida a métodos de colheita para produção animal.** 2008. 101p. Dissertação – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

NUSSIO, L. G.; SUSIN, I.; MENDES, C. Q.; AMARAL, R. C. Estratégias para garantir eficiência na utilização de cana-de-açúcar para ruminantes. **Tecnologia & Ciência Agropecuária.**, João Pessoa, v.3, n.4, p.27-33, dez. 2009

OGATA, B. H. **Caracterização das frações celulose, hemicelulose e lignina de diferentes genótipos de cana-de-açúcar e potencial de uso em biorrefinarias.** 2013, 108p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

OLIVEIRA, M. D. S. **Cana-de-açúcar na alimentação de bovinos.** Jaboticabal: FUNEP, 1999. 128p.

PARACHIN, N. S.; ALMEIDA, J. R. M. In: **Microrganismos na Produção de biocombustíveis Líquidos**; Machado, C. M. M. (Edt.); Embrapa: Brasília, 2013, p.189

PATE F. M.; ALVAREZ, J.; PHILLIPS, J. D.; EILAND, B. R. Sugarcane as a Cattle Feed: Production and Utilization. Department of Animal Sciences, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. **Bulletin**, v. 844, 2002.

PEDROSO, A. F. **Aditivos químicos e microbianos no controle de perdas e na qualidade de silagem de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)**. 2003. 120p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PEDROSO, A. F. Aditivos na ensilagem de cana-de-açúcar. **Embrapa Pecuária Sudeste-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2004.

PEDROSO, A. F.; NUSSIO, L. G.; PAZIANI, S. F. LOURES, D. R. S.; IGARASI, M. S.; COELHO, R. M.; PACKER, I. H.; HORII, J.; GOMES, L. H. Fermentation and epiphytic microflora dynamics in sugar cane silage. **Scientia Agrícola**, v.62, n.5, p.427-432, 2005.

RANA, V.; ECKARD, A. D.; AHRING, B. K. Comparison of SHF and SSF of wet exploded corn stover and loblolly pine using in-house enzyme produced from *T. reesei* RUT C30 and *A. saccharolyticus*. **Springer Plus**, v. 3, n. 516, p. 1-13, 2014.

RANDBY, Å. T.; SELMER-OLSEN, I.; BAEVRE, L. Effect of ethanol in feed on milk flavor and chemical composition. **Journal of Dairy Science**, v. 82, n. 2, p. 420-428, 1999.

REIS, R. H. P. **Características agrônômicas e composição bromatológica de variedades de cana-de-açúcar para alimentação de ruminantes**. 2010, 73p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical), Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2010.

RIBEIRO, L. S. O.; PIRES, A. J. V.; DE CARVALHO, G. G. P.; DOS SANTOS, A. B.; FERREIRA, A. R.; BONOMO, P.; DA SILVA, F. F. Composição química e perdas fermentativas de silagem de cana-de-açúcar tratada com ureia ou hidróxido de sódio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 9, p. 1911-1918, 2010.

RODRIGUES, A. A.; PRIMAVESI, O.; ESTEVES, S. N. Efeito da qualidade de variedades de cana-de-açúcar sobre seu valor como alimento para bovinos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 12, p. 1333-1338, 1997.

RODRIGUES, A. A.; CRUZ, G. M. da; BATISTA, L.A.R. LANDELL, M. G. A. Qualidade de dezoito variedades de cana-de-açúcar como alimento para bovinos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p.1111-1113.

ROTH, M. T. P.; SIQUEIRA, G. R.; REIS, R. A.; SCHOCKENITURRINO, R. B.; BERNARDES, T. F.; PIRES, A. J. V.; ROTH, A. P. T. P.; AMARAL, R. C. Ensilagem da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) tratada com doses de uréia. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG/SBZ, 2005. 1 CD-ROM.

ROTZ, C. A.; MUCK, R. E. Changes in forage quality during harvest and storage. In: **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1994. p. 828-868.

RUGERI, A. P. **Identificação do uso e desempenho de genótipos de cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul**. 2015, 91 p. Dissertação - Mestrado em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2015.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. D.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012.

SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. Bioenergia e Biorrefinaria: Cana-de-Açúcar e Espécies Florestais. **Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa**, p. 551, 2013.

SANTOS, M. C. **Aditivos químicos para o tratamento da cana-de-açúcar in natura e ensilada (*Saccharum officinarum* L.)**. 2007. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SANTOS, R. V.; **Silagem de cana-de-açúcar em duas idades de corte com diferentes aditivos**. 2004. 65p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

SCHMIDT, P. **Perdas fermentativas na ensilagem, parâmetros digestivos e desempenho de bovinos de corte alimentados com rações contendo silagens de cana-de-açúcar.** 2006. 228p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

SENGER, C. C. D.; KOZLOSKI, G. V.; SANCHEZ, L. M. B.; MESQUITA, F. R.; ALVES, T. P.; CASTAGNINO, D. S. Evaluation of autoclave procedures for fibre analysis in forage and concentrate feedstuffs. **Animal Feed Science and Technology**, v.146, p.169-174, 2008.

SILVA, S. C. A cana-de-açúcar como alimento volumoso suplementar. In: SIMPÓSIO SOBRE VOLUMOSOS PARABOVINOS, 1993, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1993. p.59-74.

SILVEIRA, L. C. I. **Melhoramento genético da cana-de-açúcar para obtenção de cana energia.** 2014, 84p. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SIQUEIRA, G. R. **Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) ensilada com aditivos químicos e bacterianos.** 2005. 91 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

SIQUEIRA, G. R.; ROTH, M. D. T. P.; MORETTI, M. H.; BENATTI, J. M. B.; RESENDE, F. D. D. Uso da cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 4, p. 991-1008, 2012.

TEW, T. L.; COBILL, R. M. Genetic Improvement of Sugarcane (*Saccharum* spp.) as an Energy Crop. In: VERMERRIS, W. **Genetic Improvement of Bioenergy Crops.** Springer, New York, 2008. cap. 9, p. 273-294.

TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. **Grass and forage science**, v. 18, n. 2, p. 104-111, 1963.

VALADARES FILHO, S. C.; CHIZZOTTI, M. L. **Composição química bromatológica de alimentos: Tabela Brasileira de Alimentos para Ruminantes – CQBAL 3.0**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2010. Disponível em: <<http://cqbal.agropecuaria.ws/webcqbal>.> Acesso em 29/01/2018.

VALERIANO, A. R. **Aditivos bacterianos na ensilagem de cana-de açúcar**. 2007. 87 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

VAN SOEST, P. J.; **Nutricional ecology of the ruminant**. Corvallis: O & Books, 1982. 373 p.

VILELA, D. Aditivos para silagem de plantas de clima tropical. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 73-108, 1998.

WHITTENBURY, R.; McDONALD, P.; BRYAN-JONES, D. J. A short review of some biochemical and microbiological aspects of silage. **Journal of Science Food and Agricultural**, v.18, p.441-44, 1967.

WOOLFORD, M. K. **The silage fermentation**. New York: M.Dekker, 1984. 350p.

ZHAO, X.; PENG, F.; DU, W.; LIU, C.; LIU, D. Effects of some inhibitors on the growth and lipid accumulation of oleaginous yeast *Rhodospiridium toruloides* and preparation of biodiesel by enzymatic transesterification of the lipid. **Bioprocess and biosystems engineering**, v. 35, n. 6, p. 993-1004, 2012.

Anexos

Anexo A – Tabelas de análise de variância primeiro capítulo

Anexo A1 – Resumo da análise de variância para variáveis químico-bromatológicas de 25 genótipos de cana-de-açúcar.

FV	GL	PB		FDN		FDA		HEMI		CEL		LIG		SST		FDN/SST		MS	
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F		
Bloco	2	0,22		17,69		0,38		15,90		0,46		0,46		0,74		0,13		13,80	
Variedade	24	1,17	5,77 **	36,09	4,63 **	11,38	5,57 **	12,74	2,01 **	7,82	3,19 **	1,48	3,40 **	7,17	8,32 **	0,42	8,21 **	14,83	3,08 **
Resíduo	48	0,20	-	7,79	-	2,04	-	6,32	-	2,45	-	0,43	-	0,86	-	0,05	-	4,81	-
Total	74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média		4,55	-	52,56	-	36,32	-	16,24	-	32,85	-	3,47	-	18,32	-	2,90	-	23,82	-
CV (%)		9,88	-	5,31	-	3,94	-	15,49	-	4,77	-	18,99	-	5,07	-	7,79	-	9,21	-

Anexo A2 – Resumo da análise de variância para TMSH, TMFH, TCH e TBH de 25 genótipos de cana-de-açúcar.

FV	GL	TMSH		TMFH		TCH		TBH		
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	
Genótipos PRBIO										
Bloco	2	37,73		41,85		124,88		0,16		
Genótipo	16	110,27	3,78 **	2860,73	7,85 **	2035,35	6,72 **	48,30	3,82 **	
Resíduo	23	29,14		364,54		302,73		12,65		
Total	41									
Média		26,03	-	115,49	-	91,58	-	15,80	-	
CV (%)		20,73	-	16,53	-	19,00	-	22,51	-	
Genótipos RB										
Bloco	2	41,12		90,97		43,90		3,40		
Genótipo	16	140,02	3,79 *	2923,82	7,06 **	2256,04	6,03 **	90,50	7,19 **	
Resíduo	23	36,96		414,34		374,34		12,59		
Total	41									
Média		31,63	-	125,19	-	100,12	-	19,45	-	
CV (%)		19,22	-	16,26	-	19,32	-	18,24	-	

Anexo B – Tabelas de análise de variância segundo capítulo

Anexo B1- Resumo da análise de variância para pH, SST e Etanol de 6 genótipos de cana-de-açúcar

FV	GL	pH		SST		Etanol	
		QM	F	QM	F	QM	F
Bloco	3	0,01		0,30		1,57	
Genótipo	5	0,12	71,80 **	30,40	21,89 **	12,25	6,82 **
inoculante	2	0,0010	0,57 ns	0,62	0,44 ns	17,24	2,84 ns
Gen x Inc	10	0,01	3,60 **	5,51	3,97 **	6,08	3,38 **
Resíduo	51	0,90	-	0,76	-	1,80	-
Total	71	-	-	-	-	-	-
Média		3,78		10,96		4,68	
CV (%)		1,10		10,75		28,62	

Anexo B2- Resumo da análise de variância para MS, DIMS e Perda de MS, de 6 genótipos de cana-de-açúcar

FV	GL	MS		DIVMS		Perda MS	
		QM	F	QM	F	QM	F
Bloco	3	0,53		6,20		87,72	
Genótipo	5	22,59	27,14 **	100,45	11,30 **	657,72	40,08 **
inoculante	2	5,39	2,43 ns	20,60	0,74 ns	10,65	0,65 ns
Gen x Inc	10	2,22	2,66 *	27,93	3,14 **	87,18	5,31 **
Resíduo	51	0,83	-	8,89	-	0,85	-
Total	71	-	-	-	-	-	-
Média		19,55		53,94		19,18	
CV (%)		4,67		5,53		21,12	

Anexo B3- Resumo da análise de variância para FDN, FDA e CZ, de 6 genótipos de cana-de-açúcar

FV	GL	FDN		FDA		CZ	
		QM	F	QM	F	QM	F
Bloco	3	0,65		88,87		6,59	
Genótipo	5	233,43	32,74 **	205,00	33,08 **	3,15	49,82 **
inoculante	2	21,36	0,71 ns	3,96	0,19 ns	0,08	0,28 ns
Gen x Inc	10	30,14	4,23 **	20,93	3,38 **	0,28	4,35 **
Resíduo	51	7,13	-	6,20	-	0,06	-
Total	71	-	-	-	-	-	-
Média		68,91		52,97		3,22	
CV (%)		3,87		4,70		7,80	

Anexo B4- Resumo da análise de variância para CEL, HEM e LIG, de 6 genótipos de cana-de-açúcar

FV	GL	CEL		HEMI		LIG	
		QM	F	QM	F	QM	F
Bloco	3	11,67		96,78		38,97	
Genótipo	5	140,59	32,62 **	3,84	2,71 *	8,14	9,37 *
inoculante	2	3,27	0,22 ns	6,95	1,62 ns	1,36	0,78 ns
Gen x Inc	10	14,84	3,44 **	4,29	3,03 **	1,74	2,00 ns
Resíduo	51	4,31	-	1,42	-	0,87	-
Total	71	-	-	-	-	-	-
Média		42,59		15,95		10,59	
CV (%)		4,87		7,46		8,80	

Anexo B5- Resumo da análise de variância para PB e SIL, de 6 genótipos de cana-de-açúcar.

FV	GL	PB		SIL	
		QM	F	QM	F
Bloco	3	0,07		0,94	
Genótipo	5	0,63	5,47 **	0,15	2,42 *
inoculante	2	0,15	0,96 ns	0,06	0,67 ns
Gen x Inc	10	0,15	1,32 ns	0,08	1,33 ns
Resíduo	51	0,11	-	0,06	-
Total	71	-	-	-	-
Média		4,21		0,97	
CV (%)		8,04		25,61	