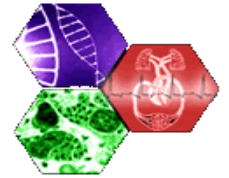




Universidade Federal De Ouro Preto  
Nucleo de Pesquisas em Ciências Biológicas  
Doutorado Em Ciências Biológicas  
Área de concentração: Bioquímica e Biologia Molecular



**Produção De Aguardente Utilizando O Sorgo Sacarino (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench)**

Rosimeire Alves Guimarães

**OURO PRETO - MG**

**Outubro/2013**

Universidade Federal De Ouro Preto  
Nucleo de Pesquisas em Ciências Biológicas  
Doutorado Em Ciências Biológicas  
Área de concentração: Bioquímica e Biologia Molecular

Rosimeire Alves Guimarães

**Produção De Aguardente Utilizando O Sorgo Sacarino (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas do Núcleo de Pesquisas em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP como parte integrante dos requisitos para a obtenção do Título de Doutor em Ciências Biológicas, área de concentração: Bioquímica Estrutural e Biologia Molecular, sob orientação do Dr. Luciano Gomes Fietto e co-orientação do Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella

**OURO PRETO – MG  
Outubro/2013**

**G963P GUIMARÃES, ROSIMEIRE ALVES.**

Produção de aguardente utilizando o Sorgo Sacarino (*Sorghum Bicolor* (L. Moench) [manuscrito] / Rosemeire Aves Guima. – 2013.

vi, 103f.: il., color.; grafs.; tabs.; mapa.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Gomes Fietto.

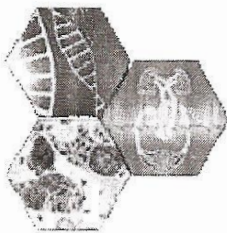
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Núcleo de Pesquisas em Ciências Biológicas.

Área de concentração: Bioquímica Estrutural e Biologia Molecular.

1. Sorgo sacarino - Teses. 2. Aguardente - Teses. 3. Cachaça - Teses. 4. Compostos orgânicos voláteis - Teses. I. Fietto, Luciano Gomes. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 663.543

Catálogo: [sisbin@sisbin.ufop.br](mailto:sisbin@sisbin.ufop.br)



Universidade Federal de Ouro Preto  
Núcleo de Pesquisas em Ciências Biológicas - NUPEB  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas

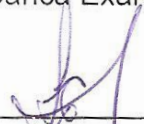


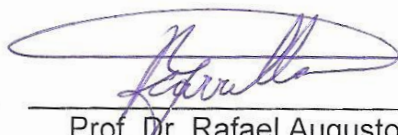
Ata da Banca Examinadora de Defesa de Tese Intitulada:

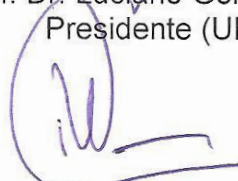
“Produção de aguardente utilizando o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.)  
Moench)”

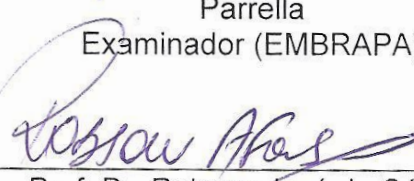
Aos vinte e oito dias do mês de Outubro de 2013, às 14:00h, no Auditório do Núcleo de Pesquisas em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto, reuniu-se a Comissão Examinadora da Tese da aluna **Rosimeire Alves Guimarães**. A defesa da tese iniciou-se pela apresentação oral feita pela candidata e, em seguida, arguição pelos membros da banca. Ao final, os membros da banca examinadora reuniram-se e decidiram por ..... Aprovar ..... a candidata. A concessão do título esta condicionada ao cumprimento das demais exigências previstas no Regimento deste Programa.

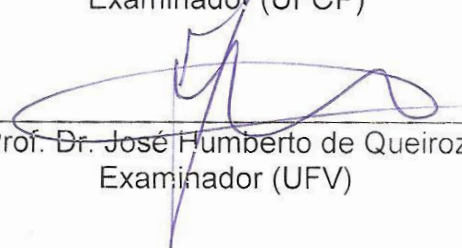
Membros da Banca Examinadora:

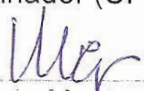
  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Luciano Gomes Fietto  
Presidente (UFV)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Rafael Augusto da Costa  
Parrella  
Examinador (EMBRAPA)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Rogélio Lopes Brandão  
Examinador (UFOP)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Robson José de Cássia  
Franco  
Examinador (UFOP)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Humberto de Queiroz  
Examinador (UFV)

  
\_\_\_\_\_  
Prof.ª Dr.ª Valéria Monteze Guimarães  
Examinadora (UFV)

DATA DA DEFESA: 28/10/2013

## RESUMO

Neste trabalho foi executado a avaliação agroindustrial do sorgo sacarino como matéria-prima para produção de aguardente. Para isto, foram conduzidos nas safras 2009/2010 e 2010/2011 os mesmos ensaios envolvendo a avaliação de duas variedades (BR 505 e BRS 506) de sorgo sacarino colhidas em três períodos de maturação (115, 123 e 131 dias após o plantio, DAP), com delineamento em blocos casualizados com 3 repetições em esquema fatorial 2 x 3. Na safra 2011/2012, foram conduzidos três ensaios idênticos, mas com épocas de semente distintas, outubro, novembro, dezembro e colheitas em fevereiro, março e abril, respectivamente. Nesta safra as colheitas foram realizadas aos 115 DAP em todos os ensaios. Cada ensaio foi composto por duas variedades de sorgo sacarino em delineamento de blocos casualizados com 3 repetições. As parcelas experimentais foram constituída por 6 fileiras de 10 m com espaçamento de 70 cm, mas as avaliações ocorreram nas quatro fileiras centrais. Os caracteres avaliados foram: toneladas de colmos por hectare, extração de caldo, sólidos solúveis totais do caldo extraído, pH do caldo, pH do vinho, acidez total do vinho, teor alcoólico do vinho, acidez volátil, alcoóis superiores, acetato de etila, cobre, carbamato de etila, álcool n-butílico, álcool metílico, aldeídos e cetonas. Na safra 2011/2012, avaliou-se adicionalmente o açúcar redutor (AR) e os açúcares redutores totais (ART). As variedades de sorgo sacarino avaliadas apresentaram diferenças significativas em termos de produtividade e qualidade. A variedade BRS 506 apresentou maiores produtividades de colmos em todas as safras avaliadas. A variedade BR 505 apresentou melhor qualidade do caldo, associando maiores valores de brix, ART e menor valor de AR, mas com pequena variação em relação a variedade BRS 506. Considerando os caracteres de rendimento e qualidade da matéria para produção de aguardente, constatou-se superioridade da variedade BRS 506. As colheitas realizadas aos 115 e 123 DAP, apresentaram maior extração de caldo e maiores teores de açúcares, os quais refletem em maior rendimento e qualidade da aguardente. As colheitas realizadas nos meses de março e abril apresentaram maiores produtividades de colmo, maior extração de caldo, maiores teores de açúcares no caldo extraído. A maioria das análises das aguardentes apresentou-se dentro dos limites especificados pela legislação. Algumas amostras apresentaram os compostos alcoóis superiores e cobre em quantidades acima do permitido pela legislação brasileira, mas estes caracteres são influenciados pelas condições do processamento. Para o parâmetro carbamato de etila, todas as amostras atenderam ao padrão legal exigido apresentando valores bem abaixo do permitido. Não foram detectados teores de metanol, cetonas e aldeídos como acroleína e furfural. Os resultados obtidos no presente trabalho mostram que as variedades de sorgo sacarino avaliadas produziram matéria prima com alto rendimento e qualidade para produção de aguardente. Neste sentido, o sorgo sacarino é uma opção bastante interessante visando

ampliar/complementar a produção de aguardente, principalmente durante o período da entressafra da cana-de-açúcar.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor*, período de maturação, épocas de colheita, aguardente, compostos voláteis.

## ABSTRACT

In this study we evaluate sweet sorghum as feedstock for brandy production in Salinas, North of Minas Gerais. For this, harvests were conducted in 2009/2010 and 2010/2011 with the same experiment involving evaluation of two sweet sorghum varieties ( BR 505 and BRS 506 ) harvested at three stages of maturity ( 115 , 123 and 131 days after planting , DAP ) with randomized block design and three replications in a factorial 2 x 3 . In 2011/2012 season , three identical experiment were conducted , but with different times of sowing , October, November, December and harvest in February , March and April, respectively. This crop harvests were performed at 115 DAP in all trials. Each trial consisted of two sweet sorghum varieties in randomized block design with three replications. The experimental plots consisting of 6 rows of 10m spacing of 70 cm, but the evaluations were the four central rows. The traits were : Tons of cane per hectare , juice extraction , total soluble solids of the juice extracted, pH of the broth, pH wine, total acidity of the wine, alcohol content of wine, volatile acidity, higher alcohols, ethyl acetate, copper, ethyl carbamate, n-butyl alcohol, methyl alcohol and aldehydes and ketones. In 2011/2012 season, we assessed further the total reducing sugars (TRS). The sweet sorghum varieties evaluated showed significant differences in terms of productivity and quality. The BRS 506 showed higher yields of stems in all crop seasons. The variety BR 505 showed better quality, associating higher values of brix, TRS and lowest value of AR, but with little variation compared to BRS 506. Considering the characters of yield and quality of feedstock for brandy production was found superiority of BRS 506. Harvested at 115 and 123 DAP showed higher juice extraction and higher sugar content which reflect in higher yield and quality of brandy. Harvested in the months of March and April showed greater productivity, higher juice extraction, higher sugar content in juice. Most analyzes of brandy was within the limits specified by law. Some samples showed the higher alcohols and copper compounds in amounts above those permitted by Brazilian law. But these characters are influenced by the processing conditions. For the parameter ethyl carbamate, all samples met the legal standard required showing very low values below permitted. We're not detected levels of methanol, ketones and aldehydes such as acrolein and furfural. The results obtained in this study show that sweet sorghum varieties evaluated produced feedstock with high yield and quality for the brandy production. Therefore, sweet sorghum is a very interesting option aiming to expand / complement brandy production in the Salinas region, North of Minas Gerais, especially during the off season of cane sugar.

**Keywords:** *Sorghum bicolor*, maturate period, harvest seasons, brandy, volatile compounds.

*Aos meus pais José Alves Pereira (in memoriam) e Carlita Guimarães (in memoriam) que me ensinaram o caminho da honestidade e responsabilidade e ao meu grande amor: Rodrigo Guimarães Mello meu filho companheiro e amigo de todas as horas, a minha razão de viver!*

***Dedico***



**EPIGRAFE**

*“Esperança viva que o sangue amansa vem lá do espaço aberto e faz do nosso braço um abrigo  
que possa guardar a vitória do sentimento claro vencendo todo o medo mãos dadas pela rua  
num destino de luz e amor” (Beto Guedes e Ronaldo Bastos)*

## AGRADECIMENTOS

A DEUS por me permitir de forma tão generosa a oportunidade de realizar esse trabalho me protegendo em todos os momentos da minha vida.

À Universidade Federal de Ouro Preto, pela oportunidade de realização do curso de Doutorado.

Ao meu orientador, Dr. Luciano Gomes Fietto, pela atenção, orientação, estímulo, por toda sua paciência e confiança depositada em meu trabalho.

Ao meu co-orientador, Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella, pelo apoio que muito contribuiu para minha formação; uma pessoa que aprendi a admirar e a respeitar por sua competência e pelos seus conhecimentos.

Ao professor Dr. Rogélio Brandão, idealizador do programa DINTER Salinas-Ouro Preto.

Aos professores do Laboratório Caracterização Molecular/Espectrometria de Massas da UFOP, Dr. Maurício Coutrim e Dr. Robson Afonso, colaboradores deste projeto, pelas suas contribuições na realização deste trabalho, pelo apoio, pela disponibilização do laboratório e pela confiança.

Ao colega Vander Fillipe de Souza pela amizade e ajuda inestimável à execução deste trabalho.

À Zezé Trópia, Pep, Cris, Filipe, Bruna, Florencia e Leoneide pela amizade, paciência, carinho e apoio.

As alunas Débora Farias Silva e Ananda Sanson pela atenção e paciência que tiveram comigo e ajuda nas análises laboratoriais. Muito obrigada!

Aos colegas e amigos do doutorado DINTER de Salinas, Edilene (Dilla), Dani, Thiago, Oscar, Lázaro e Magalhães pela amizade, convívio e experiências compartilhadas.

Aos professores do NUPEB, pelos conhecimentos transmitidos, pela paciência e convívio durante todos esses anos.

Ao Prof. Adalcino França Júnior pela implantação do curso de Tecnologia em Produção de Cachaça.

Ao professor Dr. Charles Bernardo Buteri, pelo apoio e incentivo dado durante todo esse período.

Aos alunos do IFNMG – *Campus* Salinas, pela colaboração na condução dos experimentos, em especial aos alunos do curso técnico em agropecuária, do Curso Superior em Tecnologia e Produção de Cachaça e Licenciatura em Ciências Biológicas.

Aos servidores do IFNMG – *Campus* Salinas, pelo apoio e compreensão no andamento dos trabalhos, especialmente a quem auxiliou diretamente na realização dos experimentos em Salinas, Osmar, Álvaro, “Nego”, “Seu” Geraldo, Bida, Lourivaldo, José Aparecido, Adão, Marconi, Noelba, Fábio, Raul Gil, Sérgio, Chicão, Joca, Suzi, Marcelo Rossi, Diana, Fabiene, André Cândido, André Ramiro, Rogério Murta, Rogério Amorim, Vinícius, Karina, Valdirene, Laudinei, Venilson e Plácido, os meus mais sinceros agradecimentos.

A minha família pelo incentivo, apoio e em especial a minha irmã Maria Orlinda Guimarães Neta (Marica), pelo zelo e carinho com meu filho nos momentos de ausência.

A André pela força e a Allan Kardek (Alanzinho) pela amizade e apoio.

A Tati, minha secretária, que cuida da minha casa e cuidou de tudo principalmente de Rodrigo quando eu estava em Ouro Preto, pela dedicação e amizade.

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão de uma etapa tão importante da minha vida.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1	Mapa de localização do município de Salinas – MG	21
Figura 2	Chuva acumulada mensal e número de dias com chuva em Salinas – MG no ano de 2009	22
Figura3	Chuva acumulada mensal e número de dias com chuva em Salinas – MG no ano de 2010	23
Figura 4	Chuva acumulada mensal e número de dias com chuva em Salinas – MG no ano de 2011	23
Figura 5	Chuva acumulada mensal e número de dias com chuva em Salinas – MG no ano de 2012	24
Figura 6	Temperatura média mensal em Salinas – MG no ano de 2009	24
Figura 7	Temperatura média mensal em Salinas – MG no ano de 2010	25
Figura 8	Temperatura média mensal em Salinas – MG no ano de 2011	25
Figura 9	Temperatura média mensal em Salinas – MG no ano de 2012	26
Figura 10	Plantio do sorgo sacarino safra 2009/2010 e safra 2010/2011	27
Figura 11	Processo de multiplicação das linhagens de leveduras	30
Figura 12	Dorna em aço inoxidável com volume utilizada no processo fermentativo	31
Figura 13	Alambique de cobre para obtenção da cachaça	32
Figura 14	Plantio do sorgo sacarino safra 2011/12	40

Figura 15	Teores de alcoóis superiores das aguardentes produzidas de duas variedades de sorgo sacarino (BR 505 e BRS 506)	52
Figura 16	Teores de alcoóis superiores das aguardentes produzidas de duas variedades de sorgo sacarino (BR 505 e BRS 506)	53
Figura 17	Teores de cobre das aguardentes produzidas de duas variedades de sorgo sacarino (BR 505 e BRS 506)	58
Figura 18	Teores de cobre das aguardentes produzidas de duas variedades de sorgo sacarino (BR 505 e BRS 506)	59
Figura 19	Teores de alcoóis superiores das aguardentes produzidas de duas variedades de sorgo sacarino (BR 505 e BRS 506)	68
Figura 20	Teores de cobre das aguardentes produzidas de duas variedades de sorgo sacarino (BR 505 e BRS 506)	68

**LISTA DE TABELAS**

- Tabela 1** Padrões de identidade e qualidade para a cachaça
- Tabela 2** Concentração do analito utilizado na curva analítica
- Tabela 3** Resumo das análises de variâncias conjuntas para toneladas de colmos por hectare, extração de caldo, sólidos solúveis totais no caldo, pH do caldo, pH do vinho, acidez total do vinho, teores alcoólicos no vinho, obtidos na avaliação de variedades de sorgo sacarino, nas safras 2009/2010 e 2010/2011
- Tabela 4** Desdobramento da interação variedades dentro de épocas de colheita e safras agrícolas para TCH, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011
- Tabela 5** Desdobramento da interação safras agrícolas dentro de variedades e épocas de colheita para TCH, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011
- Tabela 6** Desdobramento da interação variedades dentro de épocas de colheita para sólidos solúveis totais no caldo, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011
- Tabela 7** Desdobramento da interação variedades dentro de épocas de colheita para pH do caldo, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011
- Tabela 8** Desdobramento da interação variedades dentro de safras agrícolas para pH do vinho, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011
- Tabela 9** Desdobramento da interação variedades dentro de épocas de colheita para pH do vinho, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011
- Tabela 10** Desdobramento da interação entre safras agrícolas dentro de épocas de colheita para pH do vinho, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011
- Tabela 11** Desdobramento da interação safras agrícolas dentro de épocas de colheita para ATV, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011
- Tabela 12** Desdobramento da interação variedades dentro de épocas de colheita e safras agrícolas para TAV, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011

- Tabela 13** Desdobramento da interação safras agrícolas dentro de variedades e épocas de colheita para TAV, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011
- Tabela 14** Resumo das análises de variâncias conjuntas para álcoois superiores, acetato de etila, acetaldeído, acidez volátil, n-butílico e carbamato de etila, obtidos na avaliação de variedades de sorgo sacarino, nas safras 2009/2010 e 2010/2011
- Tabela 15** Desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para acetato de etila, obtidos na avaliação de variedades de sorgo sacarino, nas safras 2009/2010 e 2010/2011
- Tabela 16** Desdobramento da interação variedades x safras agrícolas para acetato de etila, obtidos na avaliação de variedades de sorgo sacarino, nas safras 2009/2010 e 2010/2011
- Tabela 17** Desdobramento da interação safras agrícolas x épocas de colheita para acidez volátil, obtidos na avaliação de variedades de sorgo sacarino, nas safras 2009/2010 e 2010/2011
- Tabela 18** Desdobramento da interação variedades dentro de épocas de colheita para carbamato de etila, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011
- Tabela 19a** Resumo das análises de variâncias conjuntas para toneladas de colmos por hectare (TCH), extração de caldo, sólidos solúveis totais no caldo (Brix), açúcar redutor (AR), obtidos na avaliação de variedades de sorgo sacarino, na safra 2010/2011
- Tabela 19b** Resumo das análises de variâncias conjuntas para açúcar redutor total (ART), em %, pH do caldo (pH C), pH do vinho (pH V), acidez total do vinho (ATV), ede vinho, teores alcoólicos no vinho (TAV), em % (v/v) de álcool, obtidos na avaliação de variedades de sorgo sacarino, na safra 2010/2011
- Tabela 20** Valores médios para toneladas de colmos por hectare (TCH), extração de caldo, acidez total do vinho (ATV), obtidos na avaliação de duas variedades de sorgo sacarino na safra 2010/2011

- Tabela 21** Valores médios para toneladas de colmos por hectare (TCH), extração de caldo, pH do caldo (pH C), pH do vinho (pH V), acidez total do vinho (ATV), teores alcoólicos no vinho (TAV), obtidos na colheita de sorgo sacarino em diferentes épocas, na safra 2010/2011
- Tabela 22** Desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para sólidos solúveis totais no caldo (Brix), avaliados na safra 2010/2011
- Tabela 23** Desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para açúcar redutor (AR), avaliados na safra 2010/2011
- Tabela 24** Desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para açúcar redutor total (ART), avaliados na safra 2010/2011
- Tabela 25** Resumo das análises de variâncias conjuntas entre épocas de colheita para álcoois superiores, acetato de etila, acetaldeído, acidez volátil, n-butílico e carbamato de etila obtidos na avaliação de variedades de sorgo sacarino, na safra 2010/2011
- Tabela 26** Desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para acetato de etila, avaliadas na safra 2010/2011
- Tabela 27** Desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para acetaldeído, avaliadas na safra 2010/2011
- Tabela 28** Desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para acidez volátil, avaliadas na safra 2010/2011
- Tabela 29** Desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para n-butílico, avaliadas na safra 2010/2011



## SUMÁRIO

RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vii
AGRADECIMENTOS .....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xii
LISTA DE TABELAS .....	xiv
1 - Introdução.....	21
2 – Justificativa.....	23
3 – Objetivos.....	24
3.1 - Objetivo Geral .....	24
3.2 - Objetivos Específicos .....	24
4 – Revisão De Literatura.....	25
4.1 – Sorgo Sacarino.....	25
4.2 – Bebidas Alcoólicas .....	26
4.3 – Aguardente De Cana-De-Açúcar .....	27
4.4 – Processamento da Aguardente de Cana-de-Açúcar .....	29
4.4.1 – Caldo de cana e mosto .....	30
4.4.2 – Fermentação.....	30
4.4.3 – Destilação .....	31
4.5 – Compostos Voláteis.....	32
4.5.1 – Acidez volátil em ácido acético .....	32
4.5.2 – Ésteres em acetato de etila.....	32
4.5.3 – Alcoóis superiores .....	33
4.5.4 – Aldeídos e Cetonas .....	33
4.5.5 – Carbamato de etila .....	35
4.5.6 – Álcool n-butílico.....	35
4.5.7 – Metanol.....	35
4.5.8 – Cobre .....	36
5 – Materiais e Métodos .....	37
5.1 – Descrição da Área de Plantio e Manejo Fitotécnico das Cultivares de Sorgo Sacarino .....	37
5.2 – Planejamento Experimental: safras 2009/2010 e 2010/2011 .....	42
5.3 – Caracteres Avaliados:.....	43

5.3.1 – Análises agronômicas .....	43
5.3.1.1 – Tonelada de colmos por hectare (TCH) .....	43
5.3.1.2 – Porcentagem de extração de caldo (%).....	43
5.3.2 – Análises do caldo.....	43
5.3.2.1 – Teor de sólidos solúveis brix do caldo (%) .....	43
5.3.2.2 – pH do caldo (pH C) .....	43
5.3.3 – Análises do vinho .....	43
5.3.3.1 – Acidez total do vinho (ATV).....	43
5.3.3.2 – pH do vinho (pH V).....	44
5.3.3.3 – Teor alcoólico do vinho (TAV) .....	44
5.4 – Produção e análises das aguardentes .....	44
5.4.1 – Fermentação em escala piloto .....	44
5.4.2.2 – Preparo do inóculo.....	44
5.4.2.4 – Pé-de-cuba .....	45
5.4.2.5 – Processo Fermentativo.....	46
5.4.2.6 – Destilação em alambique de cobre .....	47
5.5 Análises físico-químicas das Aguardentes .....	47
5.5.1 – Acidez total.....	48
5.5.2 – Acidez volátil.....	48
5.5.3 – Grau alcoólico aparente .....	48
5.5.4 – Grau alcoólico real.....	48
5.6 - Análises Cromatográficas (CG-FID) .....	48
5.6.1 – Preparo das soluções e confecção da curva analítica .....	49
5.7 – Análise de Cobre por Espectrometria de absorção atômica .....	49
5.8 – Análise qualitativa de Compostos Voláteis por <i>GC-MS</i> .....	49
5.8.1 – Máquina e condições cromatográficas .....	49
5.8.2 – Preparo das Amostras .....	50
5.9 – Análise quantitativa de carbamato de etila por <i>GC-MS</i> .....	50
5.9.1 – Materiais .....	50
5.9.2 – Preparo dos padrões e Amostras.....	50
5.9.3 – Condições Cromatográficas ( <i>GC-MS</i> ).....	51
5.10 – Análises de Aldeídos e Cetonas por <i>HPLC-DAD-MS</i> .....	51
5.10.1 – Materiais .....	51
5.10.2 – Preparo de Padrões e Amostras .....	51

5.10.3 - Condições Cromatográficas ( <i>HPLC-DAD-MS</i> ) .....	52
5.11 – Planejamento Experimental: safras 2011/2012 .....	52
5.11.1 – Caracteres Avaliados: .....	53
5.11.1.1 – Açúcares redutores totais (ART) e Açúcares redutores (AR) do caldo .....	53
5.12 – Análises Estatísticas .....	54
5.12.1 – Análises de Variância safras 2009/2010 e 2010/2011 .....	54
5.12.2 – Análises de Variância safra 2011/2012 .....	55
6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	56
6.1 – Análises agronômicas e físico-químicas do caldo e vinho do sorgo sacarino em três épocas de maturação nas safras 2009/2010 e 2010/2011 .....	56
6.1.1 – Toneladas de colmo por hectare .....	58
6.1.2 – Extração de Caldo.....	59
6.1.3 – Sólidos solúveis totais .....	59
6.1.4 – pH do caldo.....	60
6.1.5 – pH do vinho .....	61
6.1.6 – Acidez total do vinho.....	62
6.1.7 – Teor alcoólico do vinho.....	63
6.2 – Análises físico-químicas da aguardente de sorgo sacarino em três épocas de maturação nas safras 2009/2010 e 2010/2011 .....	64
6.2.2 – Alcoois superiores .....	66
6.2.3 – Acetato de etila .....	67
6.2.4 – Acetaldeído .....	68
6.2.5 – Acidez volátil.....	68
6.2.6 – Álcool n-butílico.....	69
6.2.7 – Carbamato de etila .....	70
6.2.8 – Cobre .....	71
6.2.9 – Metanol.....	72
6.2.10 – Compostos furfúricos .....	72
6.2.11 – Acroleína e cetonas.....	72
6.3 – Análises agronômicas e físico-químicas do caldo e vinho do sorgo sacarino em três épocas de colheita na safra 2011/2012 .....	73
6.4 – Análises físico-químicas da aguardente do sorgo sacarino em três épocas de colheita na safra 2011/2012.....	77
7. CONCLUSÕES.....	83

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 84

## 1 - INTRODUÇÃO

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma gramínea, cultivada em várias regiões do mundo e vem se destacando sob o ponto de vista agrônomo e industrial para a produção de etanol. A utilização do sorgo sacarino como matéria-prima na produção de aguardentes é uma opção que pode contribuir para reduzir a ociosidade dos alambiques. A cultura é recomendada para semeadura entre os meses de outubro a dezembro, que coincide com o início do período chuvoso e colheita nos meses de fevereiro a abril, possibilitando um aumento na renda dos produtores durante entressafra da cana-de-açúcar. As instalações para a produção de aguardente de cana-de-açúcar podem ser utilizadas para a produção da aguardente de sorgo sacarino durante a entressafra, quando a cana-de-açúcar ainda não atingiu o grau de maturação fisiológico.

O sorgo sacarino assemelha-se à cana-de-açúcar, uma vez que o armazenamento do açúcar ocorre no colmo, entretanto ele difere da cana pelo fato de ser cultivado a partir de sementes e apresentar um ciclo vegetativo curto, 120 dias, em média. Além de fornecer bagaço para a indústria é uma opção na alimentação animal e na produção de grãos que podem ser utilizados na alimentação humana. No Brasil, desde o programa do Pró-Álcool, a Embrapa Milho e Sorgo possui um programa de desenvolvimento de cultivares de sorgo sacarino e novas variedades estão sendo avaliadas, sendo que duas cultivares de sorgo sacarino foram lançadas pela Empresa na década de 1980 (BRS 506 e BRS 507) e que têm potencial produtivo superior a três mil litros de etanol por hectare.

No Brasil a matéria-prima utilizada na produção de aguardente é, na maioria das vezes, a cana-de-açúcar, mas outras matérias-primas também podem ser utilizadas (CARDOSO, 2001). Por apresentarem boa fonte de açúcares fermentáveis, os sucos de frutas podem ser usados como matéria-prima para a produção de aguardentes (LIMA, 2001; WATSON, 1989). Já os cereais como o milho, a cevada, o arroz, entre outros, são bastante utilizados na produção de bebidas alcoólicas, como o uísque, a cerveja e o sakê (COLE e NOBLE, 1995). Recentemente alguns trabalhos foram desenvolvidos em qualidade e processamento de aguardentes de vários tipos de frutas. Aguardente de goiaba e jaca foram desenvolvidas e avaliadas por Alves (2008) e Salviano (2007), respectivamente. Silva (2008) avaliou a composição química de fermentados alcoólicos de jaboticaba, enquanto aguardentes de laranja e uva foram produzidas por Cleton e Mutton (2004). No entanto, vale destacar que o sorgo sacarino é a única destas matérias-primas que pode utilizar a mesma estrutura de moagem e processamento da aguardente dos alambiques de cana-de-açúcar, sem a necessidade de aquisição de estruturas adicionais.

É importante que se conheça a composição química das aguardentes e que seja um produto padronizado pelas normas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

(MAPA) para disponibilizar no mercado uma bebida de qualidade. A grande maioria dos produtores de aguardente procura garantir que seu produto seja uma bebida de qualidade e muitos deles estão apostando em pesquisas científicas para solucionar problemas relacionados com o processamento de aguardente. O grande potencial de exportação que representa a aguardente tem colocado de forma clara a necessidade de se estabelecer padrões de qualidade bem definidos, bem como meios efetivos de se controlar todo o processo de produção de aguardente. De acordo com Silva 2004, apesar da importância econômica e social da aguardente brasileira, existem poucos trabalhos científicos disponíveis. Desta forma, torna-se de grande importância a avaliação da qualidade da aguardente obtida a partir do sorgo sacarino visando a disponibilizar um produto seguro e dentro dos padrões exigidos.

## **2 – JUSTIFICATIVA**

O sorgo sacarino é uma gramínea cultivada em várias regiões do mundo e recentemente vem sendo utilizado como uma alternativa para a obtenção de etanol. Por apresentar ciclo reprodutivo curto, alto teores de açúcares no caldo e ser tolerante à seca, seu caldo pode ser utilizado na produção de aguardente no período da entressafra da cana-de-açúcar, otimizando a utilização dos alambiques neste período. Este estudo busca relacionar a matéria-prima de qualidade a distintas épocas de época de maturação e a épocas de colheita vinculada às boas práticas de produção da cadeia produtiva da aguardente de sorgo sacarino além de diversificar a matéria-prima na produção de bebidas.

### 3 – OBJETIVOS

#### 3.1 - Objetivo Geral

Avaliação do sorgo sacarino como matéria-prima para produção de aguardente.

#### 3.2 - Objetivos Específicos

- ✓ Caracterização agronômica de duas cultivares de sorgo sacarino em três períodos de maturação e em três épocas de colheita;
- ✓ Determinar os parâmetros de qualidade do caldo extraído dos colmos de duas cultivares de sorgo sacarino colhidos em três períodos de maturação e em três épocas de colheita;
- ✓ Produzir aguardentes a partir de duas cultivares de sorgo sacarino colhidos em três períodos de maturação e/ou três épocas de colheita;
- ✓ Caracterização físico-química das aguardentes obtidas pelo mosto fermentado do caldo extraído dos colmos de duas cultivares de sorgo sacarino
- ✓ Determinar nas aguardentes de sorgo sacarino produzidas em escala piloto o perfil de compostos químicos dos grupos de alcoóis superiores, ácidos orgânicos, aldeídos e ésteres exigidos pela legislação brasileira.



## 4 – REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 – Sorgo Sacarino

O sorgo sacarino é uma planta originária da África e é o quinto cereal mais plantado no mundo, vindo logo depois do milho, trigo, arroz e cevada (FAS, 2011). Pertencente à família *Poaceae* e ao gênero *sorghum*, o sorgo é uma planta do grupo C4, de dias longos e com altas taxas fotossintéticas. Estudos sugerem que sua origem é tropical e a espécie não suporta temperaturas abaixo de 20° C, seu cultivo, no Brasil, dá-se então tradicionalmente em regiões com registros climáticos superiores a essa temperatura. Contudo, o sorgo vem sendo cultivado em latitudes de até 45° ao norte ou 45° ao sul, graças a pesquisas e adaptações de novas espécies feitas ao longo dos últimos anos (RIBAS, 2010; MAGALHÃES E DURÃES, 2003).

Em muitos países da África, Sul da Ásia e América Central, o sorgo é utilizado como principal fonte de alimento humano e nos Estados Unidos, Austrália e América do sul é um importante componente da alimentação animal (EMBRAPA, 2008). A cultura do sorgo sacarino teve grande destaque nos Estados Unidos durante a primeira década do século XX, na produção de xarope e melão (GUIMARÃES, 1996). A gramínea produz grãos e forragens, que são utilizados na alimentação animal em diversos países e podem ser colhidos no período da entressafra da cana-de-açúcar. O sorgo apresenta colmos com caldo rico em açúcares fermentáveis, semelhantes aos da cana-de-açúcar, que vem sendo empregado na produção de etanol e podem produzir entre 40-70 t ha<sup>-1</sup> de biomassa, variando de 16 até 23° Brix (ALMODARES E HADI, 2009; PARRELLA *et al.*, 2010).

O sorgo sacarino pode ser utilizado na produção de etanol, por fermentação, enquanto seu bagaço, pode ser usado como forragem para alimentação animal, co-geração de eletricidade, em usinas termoelétricas ou matéria-prima para produção de etanol de segunda geração através de hidrólise enzimática ou química, seguida de fermentação (ALBUQUERQUE *et al.*, 2011). É uma cultura que fornece grãos, ricos em amido, e colmos que podem chegar a 5 m de altura por 1,5-5 cm de diâmetro e podem ser utilizados como substrato para a produção de álcool, forragem e combustível. (CETA, 2001; EMBRAPA, 2004). Também apresenta ciclo vegetativo curto, de 90 a 130 dias e pode ser cultivada na entressafra da cana-de-açúcar ou no período em que a cana-de-açúcar ainda se encontra em estado de crescimento vegetativo com pouca concentração de açúcares. Assim sendo, apresenta-se como complemento na produção de etanol permitindo ampliar o período de uso das usinas de etanol em três meses (SOUZA *et al.*, 2005).

Embora se assemelhe a cana-de-açúcar, o sorgo sacarino diferencia-se pelo cultivo a partir de sementes; adaptabilidade em climas temperados e tropicais; e maior eficiência de água, necessitando de 33 a 50% menos água que a cana-de-açúcar. Além disso, facilidades de mecanização da cultura, o alto teor de açúcares diretamente fermentáveis contidos no colmo, a

elevada produção de biomassa e a antecipação da colheita com relação à cana-de-açúcar, colocam o sorgo sacarino como uma matéria-prima alternativa para produção de etanol (EMYDIO, 2010).

No Brasil, o sorgo sacarino tem sido cultivado em áreas de reforma de canaviais, com o intuito de fornecer matéria-prima para a produção de etanol na entressafra da cana-de-açúcar. Na maioria das áreas produtoras de cana (regiões Centro-Oeste e Sudeste), o plantio do sorgo é recomendado entre os meses de novembro e dezembro e a colheita deve ser realizada nos meses de março e de abril, quando a cana-de-açúcar ainda não apresenta elevados valores de sólidos solúveis, (MAY *et al.*, 2011). A cultura é sugerida para cultivo em áreas não cultivadas por cana, assim como em terras onde a cana não se adapta bem (CERES, 2010).

As pesquisas com a planta começaram em Campinas-SP entre os anos de 1940 e 1950 obtendo maior aceitação e abrangência a partir da década de 70. Nesta época, com a crise do petróleo, os pesquisadores iniciaram estudos para a utilização do sorgo sacarino como fonte de matéria-prima para a produção de etanol em complemento e/ou alternativa à cana-de-açúcar (TEIXEIRA *et al.*, 1997). O Pró-Álcool, programa que previa a substituição dos combustíveis veiculares derivados do petróleo por álcool, financiado pelo governo a partir de 1975 contribuiu para a necessidade do aumento das pesquisas a partir de então, a Embrapa Milho e Sorgo possui um programa de desenvolvimento de cultivares de sorgo sacarino. Este programa lançou no mercado algumas variedades de sorgo sacarino dentre elas: BRS 506, BR 505, BR 5601 e BR 5602 que apresentam alta produtividade com rendimento próximo a três mil litros de etanol por hectare em um período de três meses e meio. Em 2012, a Embrapa lançou a variedade de sorgo sacarino BRS 511, para atender a crescente busca por matéria-prima alternativa e complementar à cana-de-açúcar para a produção de etanol. Segundo os pesquisadores da Embrapa, o cultivar possui alto potencial de produção de colmos, podendo alcançar produtividades de 80 t ha<sup>-1</sup> e apresentando altos teores de açúcares fermentáveis no caldo entre 18 ° a 22 °Brix) (Embrapa, 2012).

## 4.2 – Bebidas Alcoólicas

Há evidências históricas que relacionam o consumo e a produção de bebidas alcoólicas fermentadas pelos fenícios, assírios e babilônios entre outros (AQUARONE, 1993). Os árabes foram os primeiros povos a criarem o processo de destilação. O processo se propagou por diferentes países que começaram a produzir seus próprios destilados (AMPAQ, 2010). A partir dos séculos XVI e XVII o mercado de bebidas destiladas começou a crescer no continente europeu com a fabricação de bebidas obtidas do mosto de cereais e frutas: a vodca vinha do centeio e do bagaço das uvas que sobravam da fabricação do vinho produzia-se a *grappa*; o

uísque vinha da cevada maltada. No Japão, o saquê foi originado do arroz e no Brasil, produziu-se a cachaça utilizando-se a cana-de-açúcar (MONTENEGRO, 2009).

Segundo a legislação brasileira as bebidas alcoólicas são classificadas em destiladas (cachaça, rum, uísque e conhaque), destilo-retificadas (vodca e gim), fermentadas (cerveja e vinho), e por misturas (licor, amargo e aperitivo, aguardentes composta e bebidas mistas) (AQUARONE *et al.*, 2001). A bebida alcoólica é então definida como um produto refrescante, aperitivo ou estimulante destinado à ingestão humana no estado líquido, sem finalidade medicamentosa e contendo mais de meio por cento, em volume, de álcool etílico a 20 °C (BRASIL, 1999). Nas bebidas alcoólicas, estão presente além do etanol, compostos secundários, que são os principais responsáveis pelo sabor característico das bebidas, que diferenciam e definem as características das diversas bebidas destiladas, e por isto são os determinantes de sua qualidade (JANZANTTI, 2004). Os principais grupos de compostos responsáveis pelo sabor deste tipo de bebida são os alcoóis superiores e os ésteres (GARCIA-LLOBODANIN, 2008).

No Brasil, outras matérias-primas podem ser utilizadas na produção de aguardente. Vários tipos de frutas têm sido utilizados para produção e avaliação por diversos pesquisadores. Aguardente de jaca foi produzida e avaliada sensorialmente por Salviano *et al.* (2007). A produção de aguardente de manga foi estudada por Simão *et al* (2005) e por Alvarenga (2008). Segundo os autores altos índices de alcoóis superiores foram encontrados no destilado. A produção de aguardente de banana foi estudada por Guimarães Filho (2003), Lara (2007) e por Silva *et al* (2009). No aguardente de banana, os pesquisadores encontraram quantidades elevadas de alcoóis superiores, acidez e metanol.

### **4.3 – Aguardente De Cana-De-Açúcar**

De acordo a Instrução Normativa N° 13 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, de 29 de junho de 2005, “Aguardente de cana é a bebida com graduação alcoólica de 38% v/v a 54% v/v a 20 °C, obtida pela destilação do mosto fermentado de cana-de-açúcar, podendo ser adicionada de açúcares até 6 g/L (seis gramas por litro), expressos em sacarose” e “Cachaça é a denominação típica e exclusiva da aguardente de cana produzida no Brasil, com graduação alcoólica de 38% v/v a 48% v/v a 20 °C, obtida pela destilação do mosto fermentado de cana-de-açúcar com características sensoriais peculiares, podendo ser adicionada de açúcares até 6 g/L, expressos em sacarose” (BRASIL, 2005).

O Brasil destaca-se na produção de aguardente de cana-de-açúcar, sendo a segunda bebida alcoólica mais consumida no país e o terceiro destilado mais consumido no mundo. O país tem mais de 5 mil marcas de cachaça, cerca de 30 mil produtores e a bebida é consumida em mais de sessenta países (ABRABE, 2010). O setor produtivo da bebida gera cerca de 650 mil empregos diretos e indiretos em todo país e entre os anos de 1970 e 2010, a produção

passou de 418 milhões de litros para 1,8 bilhões de litros (ABRABE, 2011). Os estados de São Paulo, Pernambuco, Ceará, Minas Gerais, e Paraíba são os que mais produzem o destilado (SILVEIRA, 2008). O estado de Minas Gerais é o maior produtor do destilado de alambique. O mesmo estado possui em média 8.500 alambiques, dos quais 500 estão registrados no MAPA. Cerca de 250 milhões de litros da bebida são produzidos no estado, por ano, gerando 116 mil empregos diretos e renda anual de R\$ 1,4 bilhão. (SILVEIRA *et al.*, 2010).

Embora a produção da cachaça esteja em alta, à exportação ainda é considerada baixa, sendo aproximadamente 1% de toda produção. É essencial que o melhoramento do processo produtivo da aguardente e da cachaça de alambique, garanta qualidade e padronização do produto para que os padrões internacionais sejam atendidos e, assim, haja boa aceitação do produto pelo mercado externo (BOSQUEIRO, 2010). As dificuldades de adequação aos limites máximos estabelecidos pelo MAPA para alguns componentes presentes na cachaça como, por exemplo, o cobre ( $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ ) que em alguns países é  $2,0 \text{ mg L}^{-1}$  e o carbamato de etila ( $0,15 \text{ mg L}^{-1}$ ) tem impedido o Brasil de atingir níveis maiores de exportação. (ANDRADE-SOBRINHO, 2002; LIMA, 2009).

A cachaça e a aguardente de cana estão submetidas à legislação nacional de responsabilidade do MAPA, que estabelece a composição química, os requisitos de qualidade e a concentração máxima permitida de contaminantes dessas bebidas, conforme Tabela 1 (BRASIL, 2005).

Tabela 1 – Padrões de identidade e qualidade para a cachaça. Fonte: Instrução Normativa nº. 13 (Brasil, 2005).

<i>COMPONENTES</i>	<i>LIMITES</i>	<i>UNIDADE</i>
Graduação Alcoólica	$38 \leq e \leq 48$	% em volume de álcool etílico a 20 °C
Acidez volátil, em ácido acético	$\leq 150$	
Ésteres totais, em acetato de etila	$\leq 200$	
Aldeídos totais, em acetaldeído	$\leq 30$	
Soma de furfural e hidroximetilfurfural	$\leq 5$	
Soma dos álcoois superiores *	$\leq 360$	mg.(100 mL de álcool anidro) <sup>-1</sup>
Soma dos congêneres **	$200 \leq e \leq 650$	
Álcool metílico	$\leq 20$	
Álcool séc-butílico	$\leq 10$	
Álcool n-butílico	$\leq 3$	
Acroleína	$\leq 5$	
Carbamato de etila	$\leq 150$	
Chumbo	$\leq 200$	$\mu\text{g.L}^{-1}$
Arsênio	$\leq 100$	
Cobre	$\leq 5$	$\text{mg.L}^{-1}$

\* Álcoois superiores = (isobutílico + isoamílicos + n-propílico)

\*\* Congêneres = (Acidez volátil + ésteres + aldeídos + furfural + hidroximetilfurfural + álcoois superiores).

\*\*\* Passou a vigorar a partir de 30 de junho de 2010.

O decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009, regulamenta a Lei no 8.918, de 14 de julho de 1994, que regulamenta a padronização, classificação, registro, inspeção, produção e a fiscalização de bebidas. Esses padrões têm a finalidade de moderar a influência de cada um dos componentes na qualidade da bebida e proteção à saúde pública, ainda que, não significando que a cachaça que ali se enquadre possa ser considerada um produto de qualidade sensorial superior.

#### 4.4 – Processamento da Aguardente de Cana-de-Açúcar

A produção da aguardente de cana-de-açúcar se inicia com o manuseio e preparo da matéria-prima (corte da cana, separação de folhagens, transporte e limpeza da cana), seguido da obtenção do caldo da planta através de moendas observando-se o menor intervalo de tempo após sua colheita a fim de evitar deteriorações resultando em perdas no rendimento e na qualidade do produto final, logo após o caldo será filtrado para a separação de impurezas como, por exemplo, o bagacilho (CARDOSO, 2001; MUTTON 2005). O caldo extraído e filtrado, denominado “mosto”, é armazenado em estruturas chamadas “dornas”, onde se inicia o processo de

fermentação adicionando-se o “pé-de-cuba”, que é uma cultura propagada de fermento. Ao final da fermentação do mosto, agora denominado “vinho”, é feita uma separação do fermento, e do vinho, agora pronto para a destilação. Na estapa de destilação são separadas as frações de cabeça, coração e cauda, sendo que a cachaça é a fração intermediária. Esta pode ainda ser envelhecida ou armazenada em tonéis de madeira para posteriormente ser engarrafada, distribuída e comercializada (MAIA *et al.*, 1995; LIMA, 2001).

#### **4.4.1 – Caldo de cana e mosto**

O processamento do mosto, visa garantir um rendimento satisfatório da fermentação graças aos seguintes critérios: quantidade ideal de açúcares fermentáveis, pH ideal entre 4,7 e 5,6 e nutrientes para o crescimento de leveduras, além de uma menor contaminação inicial possível. O rendimento está diretamente relacionado com o número e o tipo de unidades esmagadoras da moenda a ser utilizada. (NOVAES, 1994; FARIA, 2000; NOGUEIRA e VENTURINI FILHO, 2005). Para obter uma boa eficiência, com alta extração do caldo, é preciso escolher corretamente a moenda, em função de seu tamanho, tipo, modelo ou capacidade. Em grande parte, o sucesso da produção de aguardente depende dessa escolha, pois o menor ou maior rendimento em cachaça está ligado inicialmente à extração do caldo (LIMA, 2001).

O mosto apresenta concentração de açúcares entre 14 ° a 22 °Brix, e a fermentação ideal ocorre tendo o caldo de cana concentração de açúcares em torno de 15 °Brix. Acima de 15 °Brix é necessário diluir o caldo, para garantir uma boa taxa de fermentação ao longo de todo o período de fabricação (Ribeiro 2002). Entre os sólidos solúveis destacam-se em importância e em quantidade, os açúcares. Entre estes, a glicose e a frutose, que são açúcares redutores, por apresentarem a propriedade de reduzir, em meio alcalino e a quente, os íons cúpricos ( $\text{Cu}^{2+}$ ) a cuprosos ( $\text{Cu}^+$ ). (ANDRADE, 1998).

#### **4.4.2 – Fermentação**

O processo de fermentação alcoólica na cachaça é responsável pela metabolização dos açúcares fermentáveis em gás carbônico e etanol, além da formação de diversos compostos secundários relacionáveis a qualidade da bebida (YOKOYA, 1995). A fermentação ideal, para a produção de aguardente, apresenta caldo de cana com concentração de açúcares em torno de 15 °Brix. Teores acima de 15 °Brix acarretam fermentações lentas e incompletas, com baixo crescimento de leveduras. Teores de açúcar abaixo de 15° Brix permitem uma fermentação mais rápida, sendo importante na etapa de propagação do fermento (MALTA, 2006). A fermentação é iniciada pela adição do inóculo (pé de cuba) ao caldo de cana enriquecido na dorna de

fermentação, e esse é completado com o caldo de cana diluído para 16 °Brix (SCHWAN E CASTRO, 2001). Segundo Ribeiro (2002), a temperatura ideal para fermentação situa-se entre 28 e 30 °C. Temperaturas mais baixas reduziriam a atividade do fermento, enquanto em temperaturas acima de 30 °C apresentam vantagem adaptativas para bactérias termofílicas, provocando a produção de compostos *off flavors* e consequente desenvolvimento de sabor desagradável.

Após, em média, 24 horas de fermentação ocorre a decantação das leveduras na dorna de fermentação, o vinho é retirado e adicionado novo mosto (CANTÃO, 2006). Quando a duração do processo de fermentação ultrapassa 36 horas, pode ocorrer a proliferação de bactérias indesejáveis e o rendimento pode ficar comprometido (SEBRAE, 2001; PATARO *et al.*, 2002). Os principais produtos secundários oriundos do processo fermentativo formados são: glicerol, ácido succínico, ácido acético, acetoína, 2,3 butanodiol e acetaldeído (SCHWAN e CASTRO, 2001).

O uso de linhagens selecionadas pode proporcionar características peculiares à fermentação, já que diferentes leveduras usadas na fermentação de caldo de cana apresentam características específicas quanto a parâmetros cinéticos e composição do vinho resultante da fermentação, sendo descritas diferenças quantitativas em relação a compostos secundários produzidos (RIBEIRO e HORII, 1999).

#### **4.4.3 – Destilação**

O processo de destilação tem a finalidade de separar os componentes presentes desejados através do aquecimento do vinho até a ebulição e posterior condensação dos vapores gerados. (YOKOYA, 1995); Em função do grau de volatilidade o destilado é dividido em três frações: cabeça, coração e cauda: a fração de cabeça é constituída pelas substâncias de maior volatilidade como o metanol, acetaldeído e acetato de etila e é recolhida nos primeiros instantes da destilação corresponde de 5 a 10% do destilado, com primeiras frações na saída do alambique. A cabeça corresponde a 1% do total do vinho do alambique e possui teor alcoólico superior a 60 °GL. A fração coração corresponde a verdadeira aguardente representando cerca de 16% do volume total do vinho do alambique, 80% do destilado. A fração coração é mais aporeciada e possui menor quantidade de substâncias indesejáveis constituindo a melhor porção do destilado e finalmente a cauda, última porção do destilado, também conhecida como “água fraca”, (CARDOSO, 2006; SOUZA, 2009) que corresponde a 3% do volume total do vinho do alambique. A Cauda é formada por compostos com pontos de ebulição maiores que 100°C (quando puros) e é obtida quando a destilação não é interrompida após a obtenção da aguardente. Na calda são encontrados ácidos como o capróico, caprílico e cáprico que possui aromas parecidos com o de sabão (SOUZA, 2009; CASSINI, 2004).

## **4.5 – Compostos Voláteis**

### **4.5.1 – Acidez volátil em ácido acético**

Durante a fermentação, a contaminação do mosto por bactérias acéticas gera grandes quantidades de ácido acético. A acidez volátil promove um sabor indesejado e agressivo, comprometendo a qualidade da bebida. Sua presença também é indicativo de más condições higiênicas durante o processo de moagem da cana. Outros fatores que podem estar relacionado à sua presença são: linhagem da levedura utilizada no pé-de-cuba, tempo e temperatura da fermentação e a demora da destilação do vinho (MIRANDA, 2005). A acidez volátil na aguardente de cana-de-açúcar é expressa em concentração de ácido acético, pois é o ácido volátil que mais predomina na bebida. A legislação brasileira vigente impõe que ela seja expressa em miligramas de ácido acético por cem mililitros de álcool anidro, tendo como valor máximo permitido de 150 (BRASIL, 2011). Quando presentes em pequena quantidade os ácidos podem contribuir positivamente para a qualidade da bebida, já que reagem com os alcoóis do meio aumentando a formação de ésteres, substâncias responsáveis pelo aroma de bebidas destiladas. (STELA, 2010).

### **4.5.2 – Ésteres em acetato de etila**

A ação de leveduras e bactérias sobre o mosto também produz ésteres, que também podem aparecer após o envelhecimento da bebida pela esterificação química de ácidos graxos com etanol. Os ésteres representam o mais importante grupo de componentes responsáveis pelo aroma típico e agradável encontrado nas bebidas alcoólicas. São produtos da reação de álcoois com ácidos. O acetato de etila é o principal éster presente na aguardente de cana representando aproximadamente 80% de todos os ésteres presente na bebida. Em pequenas quantidades esse éster está relacionado a aroma agradável de frutas, solvente e abacaxi, porém, em altas concentrações a bebida adquire um sabor indesejável e enjoativo. A maior formação de ésteres ocorre durante a fermentação e no envelhecimento estes compostos são produzidos em uma velocidade muito menor, o que requer vários meses e até anos, para equiparar-se com o teor produzido na fermentação (MAIA, 1994). O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento estabelece que a concentração permitida de ésteres, expressa em acetato de etila, não deverá ser superior a 200 miligrama por cem mililitros de álcool anidro em aguardente de cana (BRASIL, 2011).

Outros ésteres também já foram descritos e relacionados com a fermentação, dentre os quais, lactato de etila (aroma frutado) acetato de isoamila (aroma de banana), acetato de



isobutila (aroma de damasco), acetato 2-feniletila (aroma de mel, frutado, flores) e caproato de etila (aroma de maçã) (PEDDIE, 1990). Alguns ésteres são normalmente encontrados em bebidas alcoólicas, atribuindo-as características próprias como o formiato de etila (sabor artificial de rum), o acetato de n-pentila (aroma de banana), o acetato de octila (laranja), o butirato de etila (abacaxi) e o butirato de pentila (abricó) (HART, 1983; NASCIMENTO, 2007).

#### 4.5.3 – Alcoóis superiores

Os alcoóis superiores são alcoóis com mais de dois átomos de carbono e são formados principalmente a partir do catabolismo intracelular das leveduras. Por desaminação oxidativa ou por transaminação, aminoácidos vão a em cetos-ácidos. Estes, através de descarboxilação, formam aldeídos que são reduzidos e posteriormente se convertem nos alcoóis superiores correspondentes. Os principais alcoóis superiores encontrados nas aguardentes são o amílico, isoamílico, propílico, isopropílico e butílico (BELITZ *et al.*, 2009). Os fatores que influenciam a formação de álcoois superiores são diversos, a aeração do mosto, por exemplo, já foi relacionada com a maior presença de álcool isoamílico. Enquanto que altas temperaturas na fermentação e o pH do mosto também estão correlacionados com a produção de alcoóis superiores. Mostos com pHs na faixa de 3,0 a 3,5 podem ter um aumento de até 80% de alcoóis superiores em relação a mostos com pH na faixa entre 4,0 e 5,0 (MAIA e CAMPELO, 2005). A quantidade de alcoóis superiores presentes no produto final é variável e depende do equipamento e do processo de destilação, tendendo a aumentar em até oito vezes o sua concentração no destilado em comparação à mesma no vinho (LÉAUTÉ, 1990).

O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabelece que a concentração permitida de alcoóis superiores totais (expressa pelo somatório dos alcoóis n-propílico, isobutílico e isoamílico) em cachaça não deverá ser superior a 360 mg.100 mL<sup>-1</sup> de álcool anidro (BRASIL, 2011).

#### 4.5.4 – Aldeídos e Cetonas

Os aldeídos e cetonas são resultantes da ação de leveduras durante estágios preliminares do processo fermentativo, tendendo a desaparecer nas etapas finais, quando o mosto não sofre aeração (YOKOYA, 1995) Diversos aldeídos são considerados tóxicos para os humanos sendo associados aos efeitos desagradáveis causados pelo excesso do consumo de bebidas alcoólicas, como por exemplo, o acetaldeído, acroleína, furfural e o hidroximetilfurfural já anteriormente associados aos sintomas de intoxicação, náusea, vômitos, agitação, transpiração, confusão e dores de cabeça (VILELA *et al.*, 2007; ALCARDE *et al.*, 2011). Vários aldeídos já foram identificados como compostos presentes nas aguardentes de cana-de-açúcar tais como: formaldeído, acetaldeído, propionaldeído (acroleína), propionaldeído, butiraldeído,

isovaleraldeído, *n*-valeraldeído, benzaldeído, furfural e hidroximetilfurfural. (VILELA *et al.*, 2007; ALCARDE *et al.*, 2011; NASCIMENTO 1998).

O acetaldeído é o principal aldeído presente em vinhos e bebidas alcoólicas destiladas constituindo mais de 90% do total dos aldeídos presentes. (CARDOSO, 2006). A não separação correta da fração cabeça pode gerar uma aguardente rica em acetaldeído. (VILELA *et al.*, 2007). O acetaldeído pode ter origem na oxidação de alcoóis assim como pode ser intermediário na formação do ácido acético (MAIA, 1994). A acroleína (2-propenal) é um aldeído formado pela desidratação do glicerol na presença de ácidos e temperatura elevada, quando em contato com as superfícies metálicas da coluna de destilação do alambique ou por contaminação bacteriana durante a destilação do mosto fermentado (NYKÄNEN e NYKÄNEN, 1991; SAUVAGEOT, 2000). Um grande teor de glicerol no meio da fermentação favorece a formação de acroleína (CARDOSO, 2006). Este aldeído é extremamente tóxico, irritante ao nariz e aos olhos e é responsável pelo aroma apimentado em bebidas destiladas novas como uísques, conhaques ou rum (NYKÄNEN, 1986).

O furfural e o hidroximetilfurfural são aldeídos originados através da desidratação e degradação, mediante compostos nitrogenados, de pentoses e hexoses sob altas temperaturas e pH ácido (BEMILLER e HUBER, 2010). Segundo Cardoso (2006) a presença desses compostos nas bebidas alcoólicas não está associada com a fermentação e sim com outros fatores, como a queima da cana, do envelhecimento da planta, e pirogenação de pentoses e hexoses residuais na destilação. Novas práticas como a não queima da cana-de-açúcar e a separação de bagacilho no alambique tem diminuído os teores desses aldeídos (MAIA e CAMPELO, 2005).

Em determinadas quantidades, as cetonas são consideradas nocivas. A inalação por longos períodos pode causar dores de cabeça, confusão, efeitos entorpecente, irritação das membranas mucosas e pode levar ao coma (NASCIMENTO *et al.*, 1998). As cetonas são encontradas em vários tipos de bebidas alcoólicas em pequenas concentrações, mas são importantes para o sabor e aroma de diversas bebidas (HEATH e REINECCIUS, 1986). As cetonas estão presentes nos vinhos, bebidas alcoólicas destiladas e bebidas envelhecidas (PIGGOTT, SHARP E DUNCAN, 1989; PUPUTTI e LETHONEN, 1986).

A 2,3-butanodiona (diacetil) é gerada do metabolismo das leveduras pela descarboxilação oxidativa de hidroxíácidos ou contaminação por certas bactérias como *Pediococcus* e *Lactobacillus* (NYKÄNEN, 1986). Está presente na cachaça e em outras bebidas como cervejas, vinhos, uísque e rum, contribuindo para seu sabor. A presença da 2,3-butanodiona está relacionada ao aroma de manteiga (MOREIRA, 2000) e em excesso é um composto não desejado (BERRY, 1995).

#### 4.5.5 – Carbamato de etila

O carbamato de etila é um composto cancerígeno que é formado naturalmente em diversos alimentos fermentados como: pão, cerveja, vinho, sakê, etc.), mas principalmente em bebidas alcoólicas fermento-destiladas (cachaça, aguardente de frutas, etc.), nas quais se forma a partir de reações entre o etanol e compostos nitrogenados, tais como a uréia e o ácido cianídrico, que é o principal precursor nitrogenado de carbamato de etila em bebidas alcoólicas fermento-destiladas. Este composto é derivado de matérias-primas de origem vegetal contendo cianoglicosídeos que são decompostos enzimaticamente em açúcar e o cianohidrina correspondentes, este último, por sua vez, pode se degradar rapidamente em ácido cianídrico. Existem várias espécies de plantas que produzem cianoglicosídeos, tais como: maracujá, mandioca, pêssego, cana-de-açúcar, sorgo e cevada. (HAQUE e BRADBURY, 2002; EFSA, 2007). No processamento das bebidas fermento-destiladas, o mecanismo de formação principal do carbamato de etila é relativamente simples e se dá pela reação de oxidação do cianeto (CN-) a cianato (CNO-) que reage diretamente com etanol formando carbamato de etila. A conversão de cianeto a cianato pode ocorrer com ou sem a presença de catalisadores e o cobre é dos um dos catalizadores dessa reação (ARESTA, 2001). No Brasil o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio da Instrução Normativa 13, estabeleceu uma tolerância de 150 µg de carbamato de etila por litro de cachaça que entrou em vigor em junho de 2012 (BRASIL, 2005).

#### 4.5.6 – Álcool n-butílico

O álcool n-butílico (1-butanol) é um contaminante orgânico nos padrões da qualidade estabelecidos pela Instrução Normativa nº 13 de 30 de junho de 2005 não sendo permitido na cachaça em quantidade superior a 3 mg/100 mL de álcool anidro (BRASIL, 2005). Bactérias anaeróbicas ao fermentar determinados carboidratos podem produzir o 1-butanol (*Clostridium acetobutylicum*) (MURTAGH, 1999).

#### 4.5.7 – Metanol

A pectina, carboidrato presente em plantas, ao ser degradado por fungos e bactérias pode gerar como sub-produto o metanol (CARDOSO, 2006). Este álcool é um composto indesejado tendo sido associado à problemas no sistema respiratório, podendo causar coma e morte, quando em grandes quantidades (CARDOSO, 2001).

#### 4.5.8 – Cobre

A presença do cobre na aguardente de cana se deve ao material que compõe o equipamento envolvido na destilação, o alambique. Neste equipamento ocorre a formação do “azinhavre” (carbonato básico de cobre) em suas paredes internas. Essa mistura solúvel  $[\text{CuCO}_3, \text{Cu}(\text{OH})_2]$  é dissolvida pelos vapores alcoólicos ácidos e arrastada para o destilado durante a destilação contaminando a bebida (CARDOSO, 2003; LIMA-NETO, 1994). O cobre em excesso no organismo tem sido descrito como um composto tóxico, graças a sua capacidade de se associar aos grupamentos sulfetos de proteínas, sendo associado a doenças como hemólises, vômito, irritação gastrointestinal, diarreia, convulsão e sérias disfunções hepáticas, epilepsia, melanoma e artrite reumatóide, bem como à perda de paladar (SARGENTELLI, 1996; SIELBALD, 2002). A contaminação da aguardente por íons de cobre é ainda considerada um entrave à exportação da bebida (CARDOSO, 2003). Apesar disto, sugere-se que em pequenas quantidades a presença dos íons cobre contribuem para a eliminação de determinados odores desagradáveis atribuídos a compostos sulfurados, observados, por exemplo, em cachaças destiladas em alambiques confeccionados com outros materiais, tais como aço inox e vidro (CARDOSO, 2006).

## 5 – MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 – Descrição da Área de Plantio e Manejo Fitotécnico das Cultivares de Sorgo Sacarino

O plantio das cultivares de sorgo sacarino foi realizado em uma área experimental do Campus do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais, Campus – Salinas (IFNMG), no município de Salinas – MG.

Considerando as coordenadas extremas, a região localiza-se entre os paralelos  $16^{\circ}18'01,2''$  e  $15^{\circ}50'59,4''$  ao Sul da linha do Equador e entre os meridianos  $42^{\circ}37'00,2''$  e  $41^{\circ}45'13,6''$  Oeste de Greenwich, conforme Figura 1.

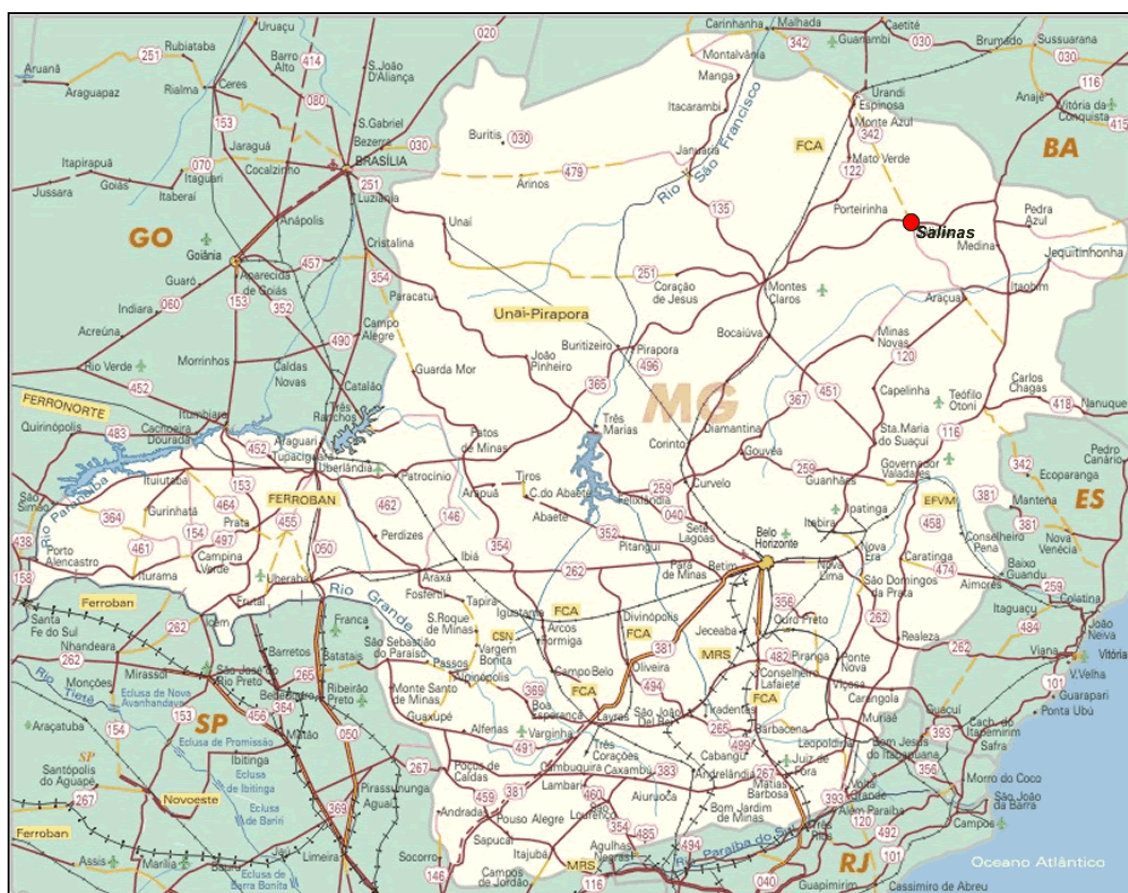


Figura 1 – Mapa de localização do município de Salinas – MG, onde foi realizado o experimento. Fonte: Santos (2009)

Segundo a classificação de Köppen, o tipo de clima predominante na área em estudo é o Aw, caracterizado pela existência de uma estação seca, bem acentuada no inverno, tendo pelo menos um mês com uma altura de chuvas inferior a 60 mm, e em que a temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C (ANTUNES, 1994).

Os índices pluviométricos e as temperaturas médias (Figuras 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9), mensais da região (referentes aos anos de 2009, 2010, 2011 e 2012), período que compreende plantio e colheita, respectivamente, foram levantados junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

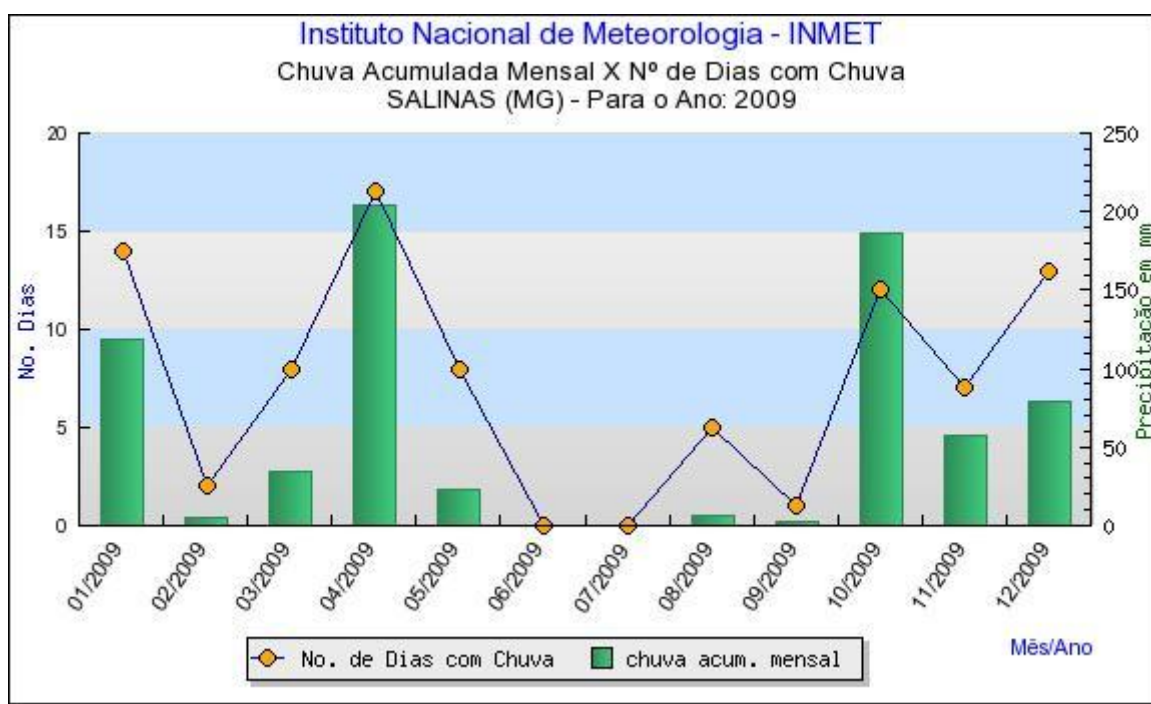


Figura 2 – Chuva acumulada mensal e número de dias com chuva em Salinas – MG no ano de 2009. Fonte: INMET, 2011.

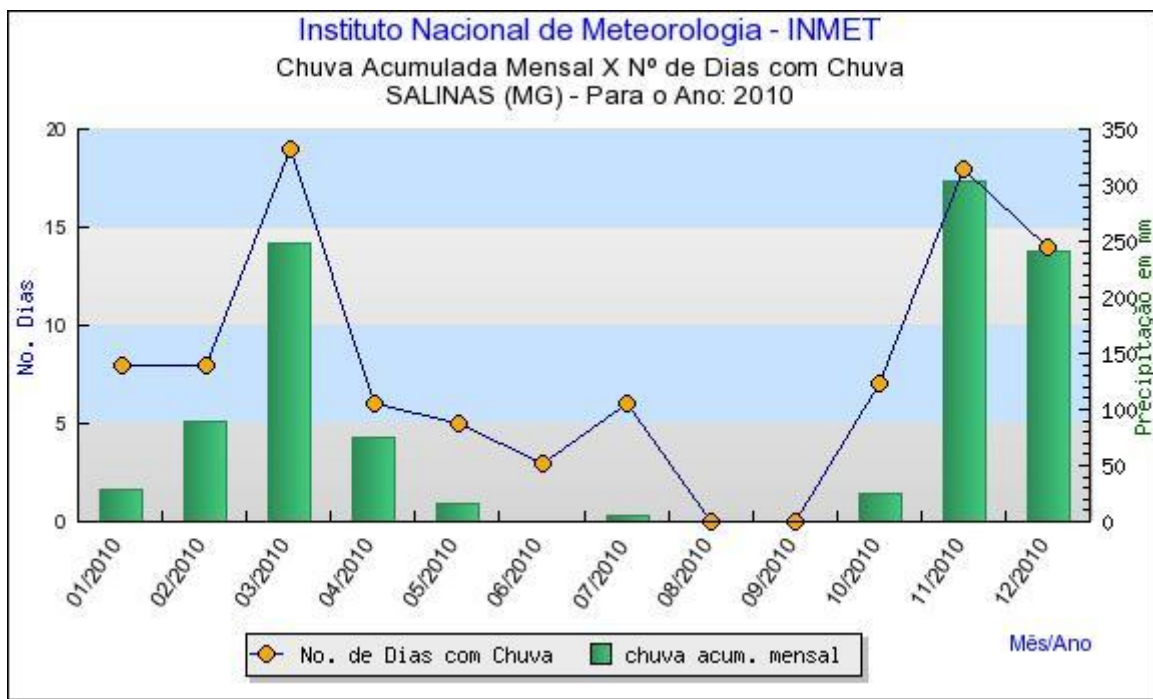


Figura 3 – Chuva acumulada mensal e número de dias com chuva em Salinas – MG no ano de 2010 Fonte: INMET, 2011.

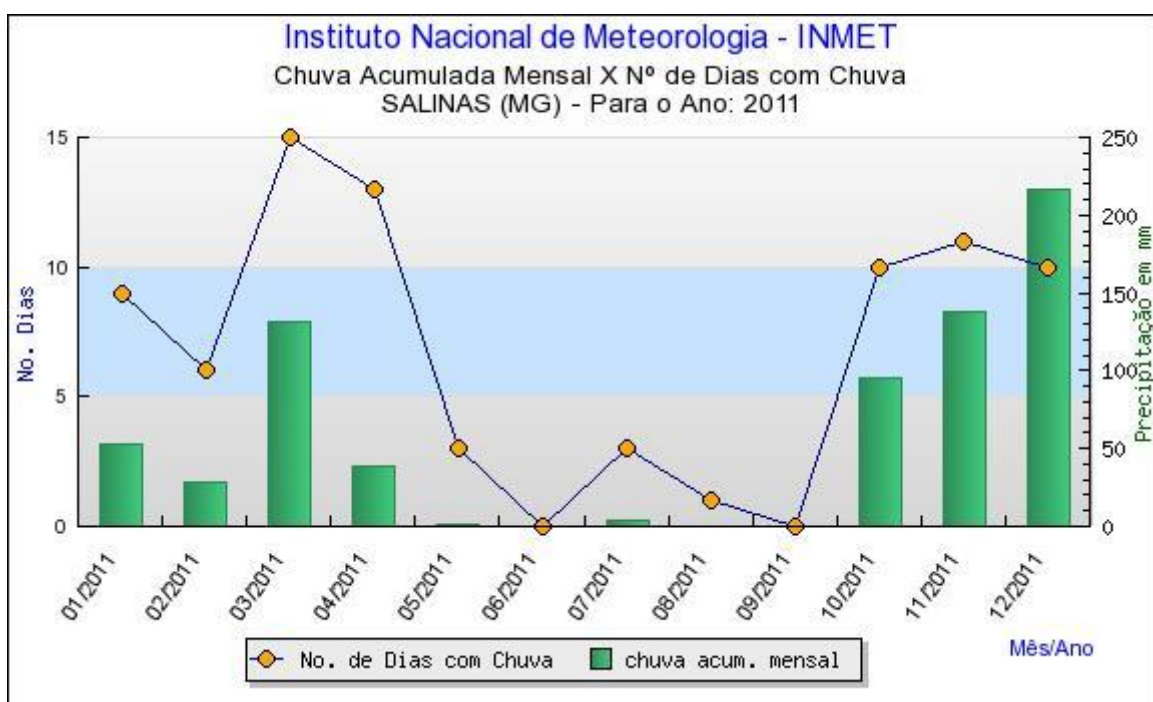


Figura 4 – Chuva acumulada mensal e número de dias com chuva em Salinas – MG no ano de 2011. Fonte: INMET, 2011.



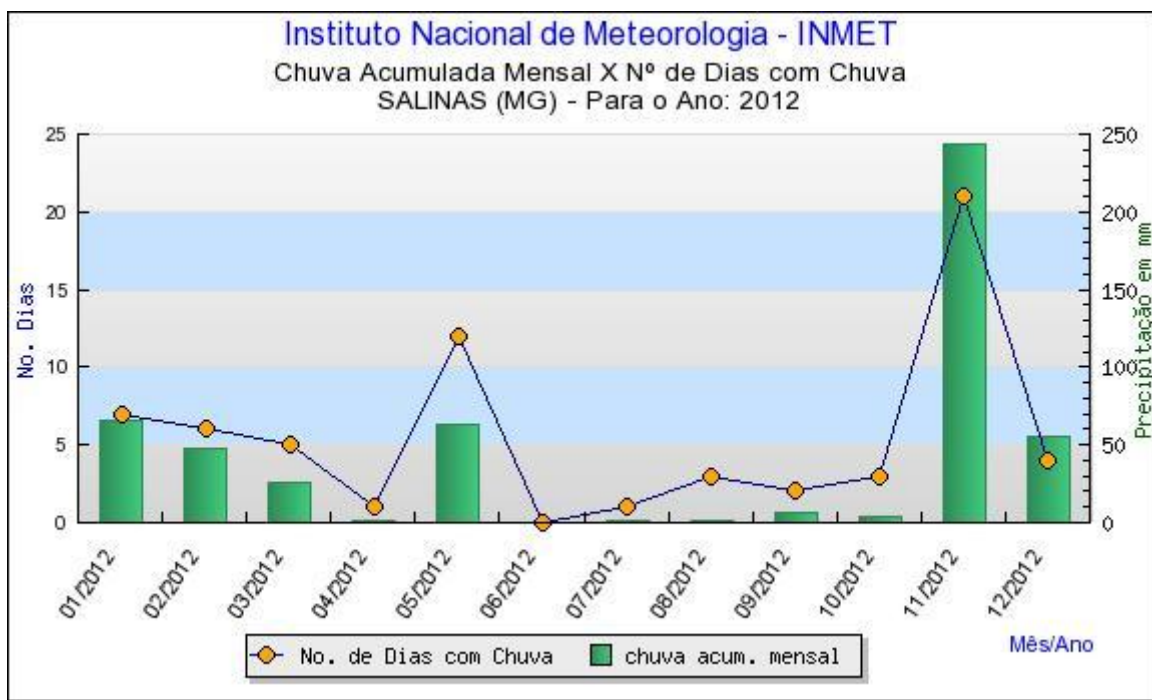


Figura 5 – Chuva acumulada mensal e número de dias com chuva em Salinas – MG no ano de 2012 Fonte: INMET, 2012

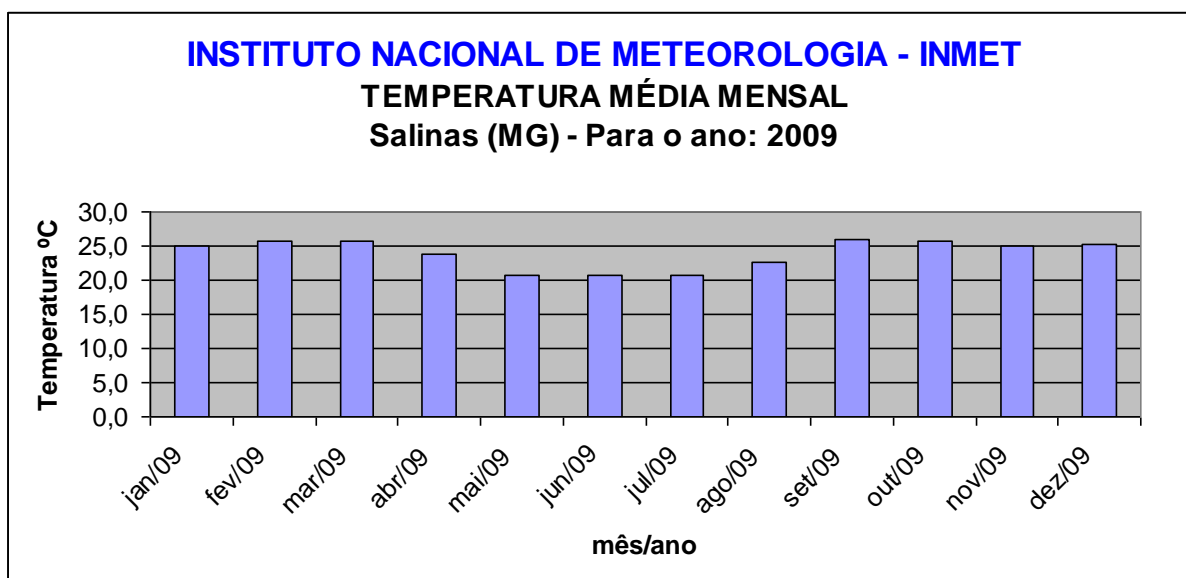


Figura 6 – Temperatura média mensal em Salinas – MG no ano de 2009. Fonte: INMET (2011).



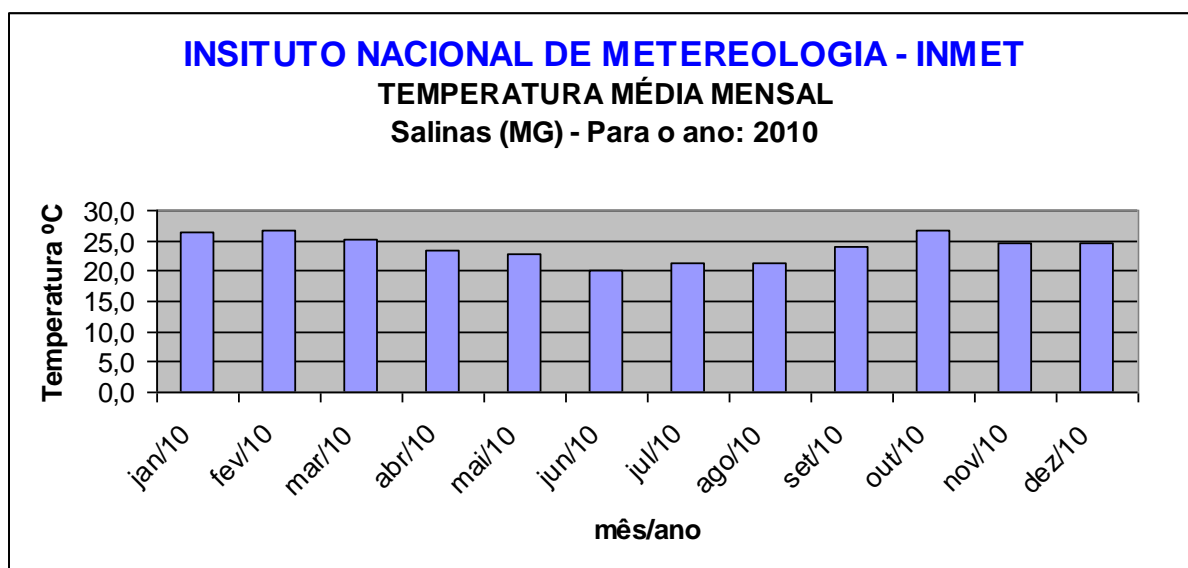


Figura 7 – Temperatura média mensal em Salinas – MG no ano de 2010. Fonte: INMET (2011).

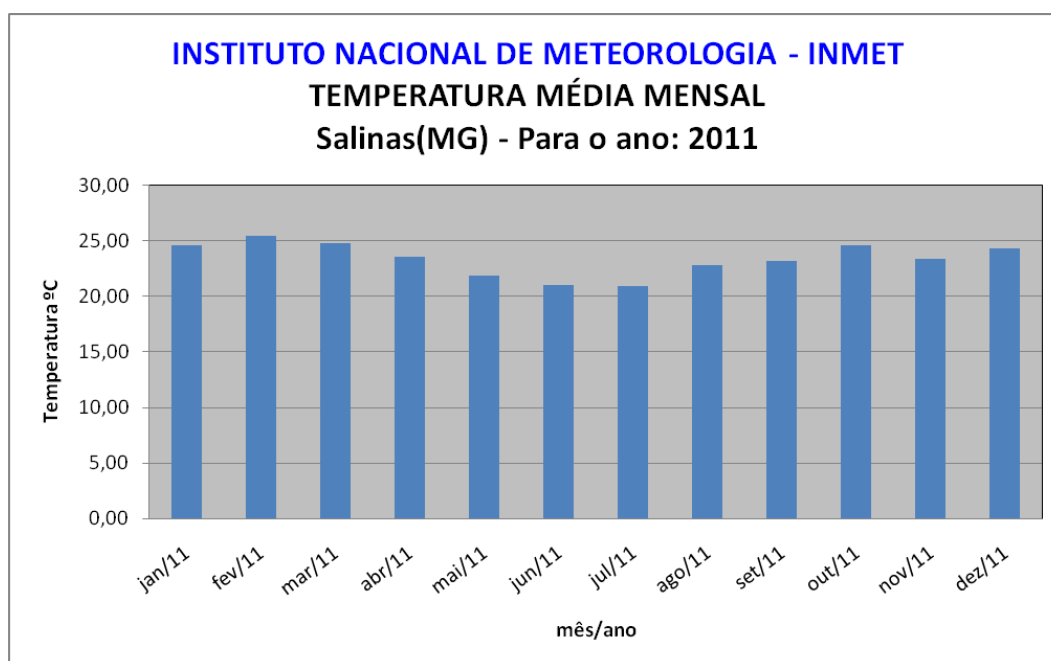


Figura 8 – Temperatura média mensal em Salinas – MG no ano de 2011. Fonte: INMET (2012).

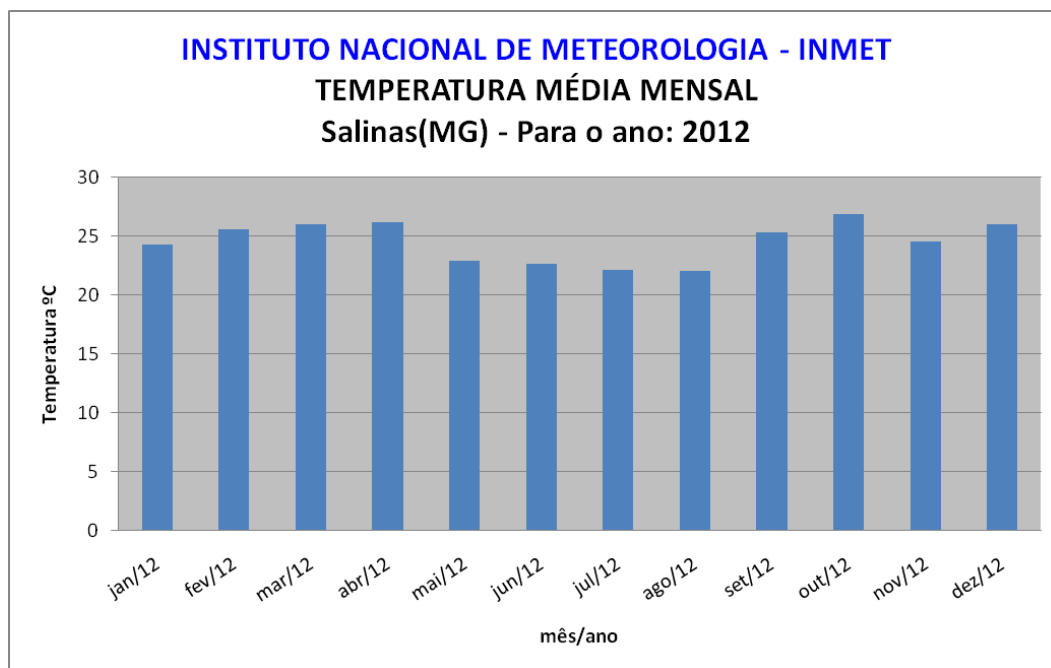


Figura 9 – Temperatura média mensal em Salinas – MG no ano de 2012. Fonte: INMET (2012).

## 5. 2 – Planejamento Experimental: safras 2009/2010 e 2010/2011

Nas safras 2009/2010 e 2010/2011, foram conduzidos o mesmo ensaio envolvendo avaliação de duas cultivares (BR 505 e BRS 506) de sorgo sacarino colhidas em três períodos de maturação (115, 123 e 131 dias após o plantio - DAP). O delineamento foi em blocos casualizados com 3 repetições em esquema fatorial 2 x 3. A parcela experimental foi constituída por 6 fileiras de 10 m com espaçamento de 70 cm, mas a avaliações ocorreram nas quatro fileiras centrais (parcela útil) conforme figura 10 (a e b). A população adotada foi de 125.000 plantas ha<sup>-1</sup> e adubação de plantio de 400 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 08-28-16, mais 200 kg ha<sup>-1</sup> de uréia em cobertura. As semeaduras ocorreram no dia 04 de dezembro nas duas safras avaliadas. Procedeu-se irrigação suplementar nos ensaios durante períodos de veranicos.

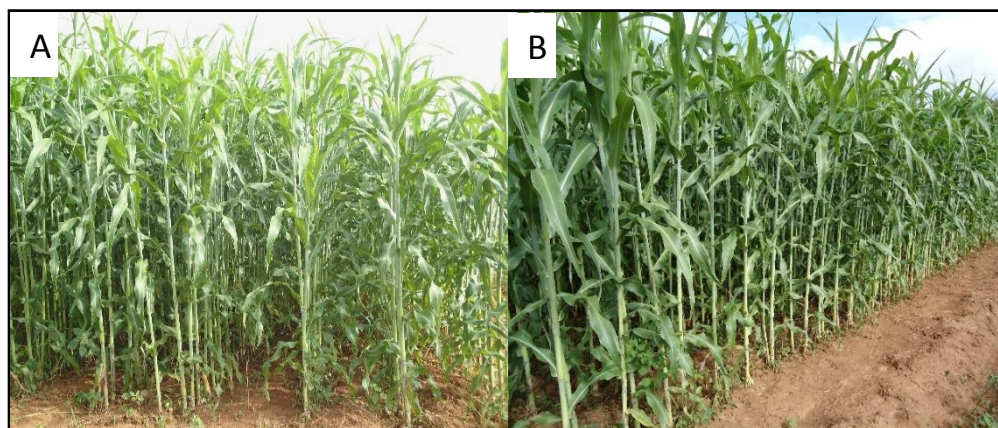


Figura 10 – Plantio do sorgo sacarino safra 2009/2010 (A) e safra 2010/2011 (B)

### **5.3 – Caracteres Avaliados:**

#### **5.3.1 – Análises agronômicas**

##### **5.3.1.1 – Tonelada de colmos por hectare (TCH)**

A produtividade do sorgo foi realizada com o peso de colmos despalhados e sem panículas em kg/parcela convertidos para t.ha<sup>-1</sup>.

##### **5.3.1.2 – Porcentagem de extração de caldo (%)**

Foram colhidas no centro de cada parcela 5 m lineares de plantas. Posteriormente, retiraram-se as folhas destas plantas o seu peso (kg) foi determinado. O caldo foi obtido a partir da moagem desta amostra de colmos limpos em um terno de moenda com dimensões de 9” x 9” e filtrado em tecido fino para remoção de resíduos da moagem (bagacilho). O volume do caldo foi estimado pela medição do peso do caldo extraído dividido pelo peso dos colmos e multiplicado por 100.

#### **5.3.2 – Análises do caldo**

##### **5.3.2.1 – Teor de sólidos solúveis brix do caldo (%)**

A determinação do brix (porcentagem aparente de sólidos solúveis, em peso, contidos no caldo) foi realizada em refratômetro digital, Braseq de leitura automática, com correção automática de temperatura e resolução máxima de 0,1° brix (um décimo de grau brix) e o resultado final foi expresso a 20°C.

##### **5.3.2.2 – pH do caldo (pH C)**

As leituras do pH foram realizadas em pHmetro digital, modelo B-474 da Micronal, com eletrodo de vidro combinado e sonda de temperatura, que permite a correção automática do pH em relação a temperatura. O equipamento foi calibrado com tampões de pH 7,0 e 4,0.

#### **5.3.3 – Análises do vinho**

##### **5.3.3.1 – Acidez total do vinho (ATV)**

A acidez total do vinho foi determinada por titulometria. Transferiu-se 5 mL do mosto ou vinho para um erlenmeyer contendo 80 mL de água destilada, obtendo assim uma solução a uma temperatura de 20 °C. Titulou-se as amostras com uma solução de NaOH 0,1 N, de fator de padronização conhecido e fenolftaleína 1% como indicador. O resultado foi expresso em gramas de ácido acético por 100 mL<sup>-1</sup> de vinho (ABNT, 1997a).

### **5.3.3.2 – pH do vinho (pH V)**

A determinação do pH foram realizadas leitura direta com uso de um pHmetro digital, modelo B-474 da Micronal, com eletrodo de vidro combinado e sonda de temperatura, que permite a correção automática do pH em relação a temperatura. O equipamento foi calibrado com tampões de pH 7,0 e 4,0. Foram coletadas amostras das dornas de fermentação com 20, 30, e 40 L e com 24 horas após o último abastecimento das dornas.

### **5.3.3.3 – Teor alcoólico do vinho (TAV)**

Ao final de cada fermentação foram coletadas amostras do caldo fermentado para a determinação do teor alcoólico. O teor alcoólico foi determinado pelo uso do ebulliômetro, onde 20 mL das amostras foram avaliadas. O ebulliômetro foi calibrado com água destilada e os dados coletados em triplicata. As análises foram realizadas a 20 °C com o resultado expresso em mL de etanol por 100 mL<sup>-1</sup> de vinho (ABNT, 1997b).

## **5.4 – Produção e análises das aguardentes**

### **5.4.1 – Fermentação em escala piloto**

#### **5.4.2.1 – Manutenção das leveduras**

Foi utilizada a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, cepa LBCM 675 selecionada na microregião de Salinas – MG por BARBOSA, 2013. A cepa de levedura foi mantida em Meio YP dextrose 2% e estocadas em geladeira a cerca de 4 °C. A cepa de levedura também foi armazenada junto à coleção do laboratório LBCM (UFOP) em Ouro Preto - MG em Meio YP dextrose 2%, acrescido de glicerol 10% em ultrafreezer a -80 °C.

#### **5.4.2.2 – Preparo do inóculo**

A levedura foi crescida em placas de Petri contendo meio YPD 2% durante 48 horas a 30 °C. Após este período as leveduras foram inoculadas em 5 mL de meio YPD 2% e incubadas a 28 °C por 24 horas, sob agitação a 200 RPM (Incubador rotatório New Brunswick Model G25). Após este período a alíquota foi inoculada em 20 mL de meio YPD 2% e incubada a 28 °C por 24 horas sob agitação. Esta alíquota foi transferida para 100 mL de meio YPD 2% incubado a 28 °C por 24 horas. Após este período foi transferido para 100 mL de melação de cana diluído a 5 °Brix previamente esterilizado e extrato de levedura a 1% incubado a 28 °C por 24 horas sob agitação. Foi realizada esta etapa até que se obteve células suficientes para iniciar a multiplicação das leveduras.

#### 5.4.2.3 – Propagação das Leveduras

A multiplicação das leveduras foi realizada em baldes plástico estéril, utilizando melação de cana estéril diluído a 5 °Brix, extrato de levedura a 1% e aeração constante feita através de compressor de ar da marca BIG AIR modelo A 420 com capacidade de bombeamento de 4,5 litros de ar/minuto, conforme Figura 11. Depois de zerado o Brix do caldo, foi retirado o vinho (sobrenadante) e realizada a repetição dessa etapa de abastecimento até que se obteve células suficientes para iniciar o processo fermentativo.



Figura 11. Processo de multiplicação das linhagens de leveduras da linhagem LBCM 675, selecionada na microrregião de Salinas, utilizando baldes plásticos com capacidade de 20 L e caldo de cana-de-açúcar estéril diluído a 5 °Brix.

#### 5.4.2.4 – Pé-de-cuba

Dois litros desta pré-cultura foram inoculados em seis dornas de aço inox com capacidade para 50 litros dando início a formação do pé de cuba, onde ele representou 10% do

volume útil da dorna de fermentação. O abastecimento do pé-de-cuba com caldo de sorgo sacarino foi gradativo em relação ao volume e ao teor do Brix, ao totalizar um volume final de 10 L deixando em repouso por 24 horas. Com esse processo esperava-se a adaptação das células ao um meio com potencial osmótico, aptas para o processo fermentativo.

#### 5.4.2.5 – Processo Fermentativo

O volume útil das seis dornas utilizadas foi de 40 L, sendo 10 L constituído do pé de cuba e 30 L de caldo de sorgo recém colhido e diluído a 15 °Brix. Os parâmetros fermentativos avaliados foram acompanhados sendo eles: pH, acidez total e teor alcoólico do vinho.

O caldo de sorgo utilizado para as fermentações foi extraído das cultivares BR 505 e BRS 506. Após a moagem e filtração, o caldo do sorgo sacarino foi diluído a 15° Brix com água destilada, Os processos de colheita e despalha foram realizados manualmente, sem queima, sendo o sorgo lavado e moído no mesmo dia da realização do corte.

O abastecimento das seis dornas foi realizado gradativamente num total de três abastecimentos, totalizando um volume final de 40 litros. Foi adicionado 10 litros de caldo de sorgo a 15° Brix sobre o pé de cuba que se encontrará com Brix zero. Ao atingir o °Brix 3, as seis dornas de fermentação foi reabastecida com mais 10 litros de caldo a 15 °Brix. Este processo foi realizado até completar o volume útil da dorna de 40 litros até zerar o Brix. Ao final do processo foram retirado 30L de vinho e encaminhado para o processo de destilação.



Figura 12 – Dorna em aço inoxidável com volume útil de 40 L em processo fermentativo, utilizada na fermentação em escala piloto no laboratório de microbiologia do IFNMG – Campus Salinas.

#### 5.4.2.6 – Destilação em alambique de cobre

Trinta litros do mosto fermentado (vinho), deslevedurado por decantação, foram encaminhado à destilação em um alambique de cobre, conforme figura 13, com capacidade para 40 litros. A destilação foi dividida em três partes: a primeira (5 % que correspondem à fração “cabeça”) e a última (15% que correspondem à fração “cauda”) que foram descartados; a parte intermediária (80% que correspondem à fração “coração”) que foi utilizada para a dosagem dos componentes voláteis da aguardente. A fração do “coração” foi acondicionada em garrafas de vidro transparentes para as análises físico-químicas, sendo amostrados 700 mL referentes a cada destilação.



Figura 13 – Alambique de cobre para obtenção da cachaça, volume útil 40 L e aquecimento com fogo direto.

#### 5.5 Análises físico-químicas das Aguardentes

As análises físico-químicas das amostras da aguardente sorgo sacarino foram realizadas no Laboratório de Cromatografia da Universidade Federal de Ouro Preto – MG. As análises físico-químicas das amostras de aguardente de sorgo sacarino foram realizadas segundo metodologia oficial do MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) (BRASIL, 2005): acidez volátil em (mg/100 mL de álcool anidro ou A.A.), alcoóis superiores (isobutílico, isoamílico, n-propílico) em (mg/100 mL de álcool anidro ou A.A.), furfural e hidroximetilfurfural em (mg/100 mL de álcool anidro ou A.A), ésteres totais em acetato de etila em (mg/100 mL de álcool anidro ou A.A), álcool metílico em (mg/100 mL de álcool anidro ou A.A), cobre em (mg/L), álcool n-butílico em (mg/100 mL de álcool anidro ou A.A), carbamato

de etila em (mg/L), acroleína em (mg/100 mL de álcool anidro ou A.A), e acetaldeído em (mg/100 mL de álcool anidro ou A.A).

### **5.5.1 – Acidez total**

A acidez total das aguardentes foi determinada por titulometria com uma solução padronizada de NaOH 0,1 N e fenolftaleína 1% como indicador, utilizando um titulador digital. As amostras encontravam-se a uma temperatura de 20 °C; foram realizadas em triplicata e os valores expressos em gramas de ácido acético por 100 mL<sup>-1</sup> de álcool anidro.

### **5.5.2 – Acidez volátil**

Os ácidos voláteis foram separados da amostra da aguardente através de arraste de vapor por aparelho eletrônico de destilação Gilbertine. Em seguida os ácidos voláteis a uma temperatura de 20 °C foram titulados com uma solução padronizada de NaOH 0,1N e fenolftaleína 1% como indicador, utilizando um titulador digital. As amostras foram realizadas em triplicata e os valores expressos em gramas de ácido acético por 100 mL de álcool anidro.

### **5.5.3 – Grau alcoólico aparente**

A graduação alcoólica foi determinada em um densímetro digital portátil DMA 35 ANTON PAAR. As amostras das aguardentes encontravam-se a uma temperatura de 20 °C; as análises feitas em triplicata e os resultados expressos em % v.v<sup>1</sup>.

### **5.5.4 – Grau alcoólico real**

As amostras das aguardentes foram redestiladas através de arraste de vapor por aparelho eletrônico de destilação Gilbertine. A graduação alcoólica dos compostos obtidos da redestilação foi determinada em um densímetro digital portátil DMA 35 ANTON PAAR. As amostras encontravam-se a uma temperatura de 20 °C; as análises feitas em triplicata e os resultados expressos em %, v.v<sup>1</sup>.

## **5.6 - Análises Cromatográficas (CG-FID)**

As análises cromatográficas foram realizadas no Laboratório de Caracterização Molecular/Espectrometria de Massas do Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto. Para tal foi utilizado cromatógrafo a gás (CG), modelo Varian CP-3380, injeção manual e detectados por ionização de chama (FID), coluna capilar de polietilenoglicol DB-WAX (60 m x 0,25 mm x 0,25 µm) da J&W, Albany, New York, para a identificação direta de ésteres em acetato de etila, aldeídos em



acetaldeído, alcoóis superiores (n-propanol, isso-butanol e o álcool isoamílico) e contaminantes como metanol e o álcool n-butílico. A injeção se deu a 225 °C e a detecção a 280 °C. 2,0 µL de cada amostra foi injetado a uma taxa de *Split* de 1:25 o gás de arraste foi hidrogênio com velocidade de 0,87 mL.min<sup>-1</sup>. Para a formação da chama foi utilizado ar sintético, hidrogênio e nitrogênio. A temperatura da coluna foi programada para inicial de 50 °C, indo a 100 °C a uma taxa de 15 °C.min<sup>-1</sup> e novamente sendo aumentada a 240 °C a uma taxa de 20°C min<sup>-1</sup>.

### **5.6.1 – Preparo das soluções e confecção da curva analítica**

Para a quantificação das amostras construiu-se uma curva analítica baseada na análise de soluções-padrão em cinco faixas de concentração adicionando-se 20 µL de solução de padrão interno (PI) a uma concentração final de 0,5%,v/v.

Para o preparo da solução intermediária (SI), cada padrão foi pesado em balão de 100 mL com cerca de 50 mL de solução álcool:água 4:6 e água q.s.p. Utilizaram-se os padrões de acetato de etila, metanol, 1- butanol, 2- butanol, isobutanol, n-propanol e álcool isoamílico, (Sigma-Aldrich). Já para o preparo da solução de padrão interno (SPI) 2,5%,v/v, 25,0 µL de pentanol foi adicionado em 975 µL de solução álcool:água (4:6).

Para a aplicação das amostras de cachaça 975 µL de cachaça foram acrescidas de 20 µL de solução de padrão interno.

### **5.7 – Análise de Cobre por Espectrometria de absorção atômica**

Utilizou-se espectrofotômetro de absorção atômica AA50, em 324,7 nm, fenda de 0,5 nm, gás acetileno/ar e chama oxidante para determinar as concentrações de cobre nas amostras das aguardentes. Utilizou-se curva-padrão construída previamente em solução hidroalcolica (40% v/v) na (faixa de 0,1 a 10,0 mg/L<sup>-1</sup>). A quantidade de cobre foi expressa em miligrama de cobre por litro da amostra.

### **5.8 – Análise qualitativa de Compostos Voláteis por GC-MS**

#### **5.8.1 – Máquina e condições cromatográficas**

As análises cromatográficas das substâncias voláteis foram realizadas por um sistema GC-MS QP2010 Plus (Shimadzu, Kyoto, Japão), equipado com fonte de ionização por elétrons (70 eV) e analisador de massas tipo quadrupolo. Foi utilizada uma coluna Elite-Wax de polietilenoglicol, 30 m x 0,25 mm x 0,25 µm (PerkinElmer, Shelton, E.U.A.). Utilizou-se o programa GCMS Solution, v.2.50 SU3 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão) já padronizado para o aparelho. A temperatura inicial do forno da coluna foi de 35°C e taxa de aquecimento de 5 °C/min até 220 °C. Manteve-se esta temperatura por 10 min. O volume injetado foi de 0,5 µL,

no modo *splitless* por 0,5 min. O fluxo do gás hélio foi de 1,24 mL min<sup>-1</sup>. A temperatura do injetor, linha de transferência e da fonte de ionização foram de 240 °C, 240 °C e 200 °C, respectivamente. O espectrômetro de massas operou no modo varredura de 40m/z até 400m/z.

### 5.8.2 – Preparo das Amostras

A extração líquido/líquido das substâncias voláteis foi realizada usando-se 8,0 mL das amostras das aguardentes, 2,0 mL diclorometano (grau HPLC, J. T. Baker) e 0,5 g cloreto de sódio (Synth P.A. – A.C.S.). A agitação das amostras foi realizada através de um agitador tipo vórtex (Velp Scientifica, 2000 RPM) por 10 min seguido de repouso, a fim de promover a separação entre as duas fases. Foi retirado 1,0 mL da fase diclorometano, a qual foi transferida a um *vial* e em seguida para o amostrador automático e análise cromatográfica.

## 5.9 – Análise quantitativa de carbamato de etila por GC-MS

### 5.9.1 – Materiais

As análises cromatográficas do carbamato de etila foi realizada por um sistema GC-MS QP2010 Plus (Shimadzu, Kyoto, Japão), equipado com fonte de ionização por elétrons (70 eV) e analisador de massas tipo quadrupolo. Foi utilizada uma coluna DB-Wax polietilenoglicol, 60 m x 0,25 mm x 0,25 µm (Agilent J&W Scientific, EUA.). Utilizou-se o programa GCMS Solution, v.2.50 SU3 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão) já padronizado para o aparelho.

### 5.9.2 – Preparo dos padrões e Amostras

Foi preparada a solução-padrão de carbamato de etila (99%) (Sigma-Aldrich) em solução hidroalcoólica (40% v/v). Diferentes concentrações foram então utilizadas para se obter uma curva-padrão (Tabela 2). Para o padrão interno (PI) da curva-padrão utilizou-se 1000 µL de Antraceno Deuterado em diclorometano a uma concentração de 3ppb.

Tabela 2 – Concentração de carbamato de etila utilizado na curva analítica

Analito	A	B	C	D	E	F
Carbamato de etila	0,08284	0,1036	0,2071	0,4142	0,8284	8,284

Tanto a curva analítica quanto as amostras das aguardentes antes de serem injetadas no sistema cromatográfico passaram pela etapa de extração líquido-líquido, em 0,5 g de NaCl, um mililitro de antraceno deuterado, um mililitro de diclorometano e 8,0 mL de amostra a um frasco de vidro de 15 mL com tampa rosqueada e septo de silicone faceado com teflon. A agitação das amostras foi realizada através de um agitador tipo vórtex (Velp Scientifica, 2000 RPM) por 10 min seguido de repouso, a fim de promover a separação entre as duas fases. Foi

retirado 1,0 mL da fase diclorometano, a qual foi transferida a um *vial* e em seguida para o amostrador automático e análise cromatográfica.

### 5.9.3 – Condições Cromatográficas (GC-MS)

A temperatura inicial do forno de coluna foi de 50°C com taxa de aquecimento de 5 °C.min<sup>-1</sup> até 220°C manteve-se esta temperatura por cinco minutos. O volume injetado foi de um microlitro, no modo *splitless*. O fluxo do gás hélio foi de 3,08 mL.min<sup>-1</sup>. A temperatura do injetor foi de 240°C, da linha de transferência foi de 240°C e da fonte de ionização foi de 200°C. O espectrômetro de massas operou no modo varredura, com íons entre 40m/z e 400m/z, e modo *SIM* com monitoramento dos íons 62 e 188m/z.

## 5.10 – Análises de Aldeídos e Cetonas por HPLC-DAD-MS

### 5.10.1 – Materiais

Foram utilizados os padrões 5-metilfurfural, propionaldeído, furfuraldeído, benzaldeído, acroleína, isovaleraldeído, 5-hidroximetilfurfural, formaldeído, 2,3-butanodiona e acetona (Sigma-Aldrich). Para derivatização das substâncias, utilizou-se 2,4-dinitrofenilhidrazina (2,4-DNPH) (Sigma-Aldrich) e ácido sulfúrico (P.A. Vetec). Água ultra-pura foi adquirida através de um sistema de troca iônica (TKA Wasseraufbereitungssysteme, Alemanha). Acetonitrila e etanol, ambos de grau *HPLC*, foram adquiridos de Fischer Scientific e J.T. Baker, respectivamente.

### 5.10.2 – Preparo de Padrões e Amostras

Para o processo de derivatização de aldeídos e cetonas, pesou-se 0,4 g de 2,4-DNPH em dois mililitros de ácido sulfúrico, três mililitros de água ultra-pura e 10 mL de etanol. Foi preparada também soluções-padrão utilizando-se 0,5 g ou um mililitro de cada padrão em 20 mL de etanol. As soluções foram misturadas até a formação de 10 mg de hidrazonas, observadas pelos precipitados, utilizou-se um dessecador por 36 horas após filtração a vácuo.

Dissolveram-se os derivados de aldeídos e cetonas em acetonitrila, em concentração final de 100 mg/L, as quais foram usadas na determinação do tempo de retenção dos analitos por HPLC. Soluções de concentrações iguais a 0,5 mg.L<sup>-1</sup>; 1,0 mg.L<sup>-1</sup>; 2,5 mg.L<sup>-1</sup>; 5,0 mg.L<sup>-1</sup> e 10,0 mg.L<sup>-1</sup> foram utilizadas para se obter as curvas de calibração.

Para a determinação desses compostos em amostras da aguardente, a uma alíquota de quatro mililitros de cada amostra foi adicionada a um microlitro de ácido fórmico e um mililitro de solução contendo 200 mg de 2,4-DNPH em 100 mL de solução hidroalcoólica (40% v/v). Essa mistura permaneceu em repouso por duas horas, depois das quais se retirou uma alíquota de 40 µL, que foi levada para análise por *HPLC*.

### 5.10.3 - Condições Cromatográficas (HPLC-DAD-MS)

As análises foram realizadas em um sistema *HPLC-DAD-MS* Shimadzu, equipado com duas bombas de alta pressão modelo LC-20AD, um detector de arranjo de diodos (DAD) modelo SPD-M20A, degaseificador modelo DGU-20A3, módulo controlador CBM-20A e autoamostrador SIL-20AC, analisador de massas *ion trap-time of fly* (IT-TOF). As separações foram realizadas empregando-se uma coluna Kinetex 2.6 U PFP, 100A (50 mm x 2,10 mm x 2,6 µm), Phenomenex. Com temperatura da CDL de 200°C, volume do gás de nebulização (N<sub>2</sub>) de 1,5 L/min, voltagem do detector 1,7 kV, tempo de aquisição de íons de 10 ms e faixa de monitoramento da relação massa/ carga de 80 a 500 Da. Os solventes utilizados como fase móvel foram: (A) água ultrapura e (B) acetonitrila:metanol (55: 45). O gradiente de eluição empregado foi: 40% por 13 minutos, aumentando para 75% até 20 minutos, passando para 100% em 25 minutos partindo de água ultrapura, mantendo por três minutos e, retornando a 40% em 30 minutos com estabilização por 5 minutos, totalizando 35 minutos de corrida. A quantificação foi realizada por curva de padronização externa, e para detecção dos analitos, utilizou-se comprimento de onda igual a 350 nm com fluxo de 0,2 mL.min<sup>-1</sup> e volume de injeção de 10 µL. As análises dos compostos carbonílicos nas amostras das aguardentes foram: 5-hidroximetilfurfural, furfuraldeído, 5-metilfurfural, benzaldeído e isovaleraldeído realizadas pelo dectetor espectrômetro de massas e, formaldeído, acroleína, 2,3-butadiona, acetona e propionaldeído pelo detector de arranjo de diodos (DAD e MS).

### 5.11 – Planejamento Experimental: safras 2011/2012

Na safra 2011/2012, foram conduzidos três ensaios idênticos, mas com épocas de semeio distintas, (outubro, novembro e dezembro). A colheita foi realizada aos 115 DAP em todos os ensaios com colheitas nos meses de fevereiro, março e abril, conforme a figura 14. Cada ensaio era composto por duas variedades (BR 505 e BRS 506) de sorgo sacarino em delineamento de blocos casualizados com 3 repetições. A parcela experimental foi constituída por 6 fileiras de 10 m com espaçamento de 70 cm, mas a avaliações ocorreram nas quatro fileiras centrais (parcela útil). A população adotada foi de 125.000 plantas ha<sup>-1</sup> e adubação de plantio de 400 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 08-28-16, mais 200 kg ha<sup>-1</sup> de uréia em cobertura. Procedeu-se irrigação suplementar nos ensaios durante períodos de veranicos.



Figura 14 – Plantio do sorgo sacarino safra 2011/12

### **5.11.1 – Caracteres Avaliados:**

Avaliou-se os mesmos caracteres das safras anteriores com adição de açúcares redutores totais (ART) e aúcares redutores (AR) presentes no caldo.

#### **5.11.1.1 – Açúcares redutores totais (ART) e Açúcares redutores (AR) do caldo**

A determinação da concentração dos Açúcares Redutores Totais (ART) foi realizada pelo método Eynon & Lane, utilizando um equipamento denominado REDUTEC (TECNAL, Brasil, modelo TE088), para a titulação. Inicialmente passou-se a amostra do sorgo pela forrageira e homogeneizou-se. Após pesou-se 50 g do sorgo picado para fazer a análise de umidade 20 minutos em estufa. Pesou-se 500 g do sorgo picado e levou-o ao digestor juntamente com 2 litros de água destilada por 20 minutos. Em seguida coou-se e pesou-se 40 g do caldo do sorgo em um balão de 100 mL completando até o menisco com água destilada. Transferiu-se 20 mL para um balão de 200 mL e acrescentou-se 20 mL de água destilada. Levou-se o balão ao banho maria até atingir uma temperatura de 65 °C. Acrescentou-se 10 mL de HCl (ácido clorídrico) para hidrólise e aguardou-se por 30 minutos. Após esse tempo adicionou-se 3 gotas de fenolftaleína e gotejou-se NaOH 20% (hidróxido de sódio) até atingir o ponto de viragem (coloração rósea o mais claro possível). Completou-se os balões com água destilada e iniciou-se a titulação no REDUTEC. No processo de titulação preparou-se a solução de feeling (20 mL de feeling A e 20 mL de feeling B). Em seguida completou-se a bureta com a solução neutralizada anteriormente e acrescentou-se 10 mL de feeling no REDUTEC. Acrescentou-se 20 mL de água destilada, descarregou-se 24 mL da solução neutralizada a ser analisada, acrescentou-se 3 gotas de azul de metileno e aos poucos a solução da bureta atingiu o

ponto de viragem (transformação da cor rósea para vermelho tijolo). Anotou-se o volume gasto e realizou-se o processo em triplicata.

Para a determinação dos açúcares redutores (AR) preencheu-se a bureta com o caldo bruto, colocou-se 10 mL de feeling A e B no REDUTEC. Em seguida acrescentou-se 20 mL de água destilada e 3 gotas de azul de metileno. Deixou-se pingar aos poucos o caldo contido na bureta até atingir o ponto de viragem (transformação da coloração azulada para vermelho tijolo). Anotou-se o volume gasto e realizou-se o processo em triplicata (VASCONCELOS, 2000).

## 5.12 – Análises Estatísticas

Para as análises estatísticas foi utilizado o programa Sisvar V. 5.1 (FURTADO, 2011).

### 5.12.1 – Análises de Variância safras 2009/2010 e 2010/2011

Primeiramente a análise de variância dos caracteres foi realizada por safra. Atendidas as pressuposições de homogeneidade das variâncias residuais, por meio do teste F máximo de Hartley, foram realizadas análises de variância conjunta das safras 2009/2010 e 2010/2011. Para agrupamento de médias foi utilizado o teste Tukey a 5% de probabilidade. Constatada a presença da interação GxA (teste F significativo) procedeu-se desdobramento.

O modelo estatístico adotado para a análise de variância conjunta foi o seguinte:

$$Y_{ijkl} = \mu + V_i + P_l + S_j + VP_{il} + VS_{ij} + PS_{lj} + VPS_{ilj} + B/P/S_{jkl} + e_{ijkl}$$

Onde:

$Y_{ijkl}$ : observação da variedade  $i$  no período de maturação  $l$ , na safra  $j$  e no bloco  $k$ ;

$\mu$ : média geral;

$V_i$ : efeito da  $i$ -ésima variedade ( $i = 1$ -BR 505 e 2-BRS 506);

$P_l$ : efeito do  $l$ -ésimo período de maturação ( $l = 1$ -115 DAP, 2-123 DAP e 3-131 DAP);

$S_j$ : efeito da  $j$ -ésima safra ( $j = 1$ -2009/2010 e 2-2010/2011);

$VP_{il}$ : efeito da interação  $i$ -ésima variedade no  $l$ -ésimo período de maturação;

$VS_{ij}$ : efeito da interação  $i$ -ésima variedade na  $j$ -ésima safra;

$PS_{lj}$ : efeito do  $l$ -ésimo período de maturação na  $j$ -ésima safra;

$VPS_{ilj}$ : efeito da interação  $i$ -ésima variedade no  $l$ -ésimo período de maturação e  $j$ -ésima safra;

$B/P/S_{jkl}$ : efeito do  $k$ -ésimo bloco dentro do  $l$ -ésimo período de maturação dentro da  $j$ -ésima safra; ( $k = 1, 2$  e  $3$ );

$e_{ij(k)}$ : erro aleatório.

A natureza do modelo considerou variedades fixo e safras com efeito aleatório.

### 5.12.2 – Análises de Variância safra 2011/2012

Primeiramente a análise de variância dos caracteres foi realizada por época de colheita (Fevereiro, Março e Abril). Atendidas as pressuposições de homogeneidade das variâncias residuais, por meio do teste F máximo de Hartley, foram realizadas análises de variância conjunta das épocas de colheita. Para agrupamento de médias foi utilizado o teste Tukey a 5% de probabilidade. Constatada a presença da interação GxA (teste F significativo) procedeu-se desdobramento.

O modelo estatístico adotado para a análise de variância conjunta foi o seguinte:

$$Y_{ijk} = \mu + V_i + C_l + VC_{il} + B/C_{kl} + e_{ikl}$$

Onde:

$Y_{ikl}$ : observação da variedade  $i$  na época de colheita  $l$ , no bloco  $k$ ;

$\mu$ : média geral;

$V_i$ : efeito da  $i$ -ésima variedade ( $i = 1$ -BR 505 e 2-BRS 506);

$C_l$ : efeito da  $l$ -ésima época de colheita ( $l = 1$  = fevereiro, 2-março e 3-abril);

$VC_{il}$ : efeito da interação  $i$ -ésima variedade no  $l$ -ésima época de colheita;

$B/C_{kl}$ : efeito do  $k$ -ésimo bloco dentro do  $l$ -ésimo período de maturação dentro da  $j$ -ésima safra; ( $k = 1, 2$  e 3);

$e_{ikl}$ : erro aleatório.

A natureza do modelo considerou variedades e épocas de colheita como efeito fixo.

Os dados referentes aos efeitos dos tratamentos foram submetidos às análises de variância e a testes de comparações múltiplas de médias Tukey a 1 e 5% de probabilidade utilizando o programa SISVAR®.

## 6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 – Análises agronômicas e físico-químicas do caldo e vinho do sorgo sacarino em três épocas de maturação nas safras 2009/2010 e 2010/2011

Os resumos das análises de variâncias conjuntas para toneladas de colmos por hectare (TCH, t ha<sup>-1</sup>), extração de caldo, em porcentagem peso caldo/peso de colmo, sólidos solúveis totais no caldo (Brix), em °B, pH do caldo (pH C), pH do vinho (pH V), acidez total do vinho (ATV), em gramas de ácido acético por 100mL<sup>-1</sup> de vinho, teores alcoólicos no vinho (TAV), em % (v/v) de álcool, envolvendo as safras 2009/2010 e 2010/2011, estão apresentadas na Tabela 3. Foram observadas diferenças significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre variedades para pH V, ATV, TCH e pH C. Verificou-se também diferença significativa ( $P \leq 0,01$ ) entre épocas de maturação para extração, Brix, pH C, pH V e ATV, indicando diferenças entre as colheitas realizadas aos 115, 123 e 131 DAP para estes caracteres. Diferenças significativas ( $P \leq 0,01$ ) entre as safras 2009/2010 e 2010/2011 foram constatadas para os caracteres pH V, ATV e TAV, sugerindo que as condições climáticas interferiram nas safras avaliadas.

Observou-se interação variedades x safras significativa ( $P \leq 0,05$ ) para o pH V, indicando que o comportamento das variedades não foi coincidente nas safras avaliadas. Além disso a interação variedades x épocas de maturação foi significativa ( $P \leq 0,05$ ) para TAV, TCH, Brix, pH C e pH V, sendo o comportamento das variedades não coincidente nas épocas de maturação. Constatou-se também a interação significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre os parâmetros épocas de maturação x safras para ATV, pH V e TAV, sugerindo que o comportamento das épocas de maturação não foi coincidente nas safras avaliadas. Verificou-se interação significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre variedades x épocas de maturação x safras para TAV e ( $P \leq 0,01$ ) para TCH, mostrando que o comportamento das variedades não foi coincidente nas épocas de maturação e safras avaliadas.



Tabela 3 – Resumo das análises de variâncias conjuntas para toneladas de colmos por hectare (TCH), em t ha<sup>-1</sup>, extração de caldo (Extração), em %, sólidos solúveis totais no caldo (Brix), em °B, pH do caldo (pH C), pH do vinho (pH V), acidez do vinho (ATV), em gramas de ácido acético por 100 mL<sup>-1</sup> de vinho, teores alcoólicos no vinho (TAV), em % (v/v) de álcool, obtidos na avaliação de variedades de sorgo sacarino, nas safras 2009/2010 e 2010/2011. FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; V: variedades; E : épocas; S: safras. CV: coeficiente de variação. SD: desvio padrão

FV	GL	TCH	Extração	Brix	pH C	pH V	ATV	TAV
(V/E)/S	12	4.46	6.43	0.16	0.01	0.00	0.23	0.10
V	1	375.07 **	26.69 NS	0.05 NS	1.01 **	0.00 *	1.52 *	0.01 NS
E	2	5.53 NS	174.26 **	25.15 **	0.24 **	0.08 **	3.09 **	2.98 **
S	1	0.10 NS	9.69 NS	0.02 NS	0.00 NS	1.37 **	4.18 **	9.72 **
V x S	1	4.52 NS	0.03 NS	0.33 NS	0.00 NS	0.00 *	0.06 NS	0.02 NS
V x E	2	24.25 **	8.81 NS	2.59 **	0.09 **	0.01 **	0.35 NS	0.14 *
E x S	2	2.82 NS	12.54 NS	0.31 NS	0.00 NS	0.06 **	1.60 *	0.18 **
V x E x S	2	36.59 **	21.38 NS	0.45 NS	0.00 NS	0.00 NS	0.03 NS	0.20 *
Resíduo	12	2.01	7.81	0.20	0.00	0.00	0.16	0.03
Média		51.94	63.41	21.78	4.92	4.04	12.24	6.63
CV(%)		2.73	4.41	2.05	0.50	0.61	3.31	2.59
SD		±19,02	±14,38	±10,62	±9,84	±6,62	±3,70	±2,56

### 6.1.1 – Toneladas de colmo por hectare

Na Tabela 4, está apresentado o desdobramento da interação variedades dentro de época de maturação e safra agrícolas para TCH. Observa-se uma melhor desempenho da cultivar BRS 506, que apresentou-se mais produtiva nas épocas e safras avaliados, exceto aos 131 DAP na safra 2010/2011, que não houve diferença entre as variedades. Também não houve diferenças entre épocas de maturação para as duas variedades na safra 2009/2010. Já na safra 2010/2011, a cultivar BR 505 apresentou maior produtividade aos 131 DAP e a BRS 506 apresentou maior produtividade aos 115 e 123 DAP, que não diferiram significativamente entre si.

Tabela 4 – Desdobramento da interação variedades dentro de épocas de maturação e safras agrícolas para TCH, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

Safras	Variedades	Épocas de maturação		
		115 DAP	123 DAP	131 DAP
2009/2010	BR 505	49.71 ±1,59 b A	50 ± 1,99 b A	47.33 ±1.46 b A
	BRS 506	55.62 ±1.44 a A	54.86 ± 3,02 a A	53.81 ±1,62 a A
2010/2011	BR 505	46.67 ±1,28 b B	46.76 ±1,90 b B	51.80 ±1.57 a A
	BRS 506	57.24 ±0,71 a A	57.81 ±1,67 a A	51.68 ±1,34 a B

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O desdobramento da interação safra agrícolas dentro de variedades e época de maturação para TCH está apresentada na Tabela 5. Pode-se observar que a cultivar BR 505 apresentou-se mais produtiva na safra 2009/2010 aos 115 e 123 DAP e na safra 2010/2011 aos 131 DAP. A variedade BRS 506 apresentou maior produtividade na safra 2010/2011 aos 123 DAP, mas não apresentando diferenças entre safras aos 115 e 131 DAP.

De acordo Silva *et al* (2010) um canavial é considerado economicamente produtivo quando a produtividade média atinge ao redor de 65 t há<sup>-1</sup>. A produtividade média brasileira da cana-de-açúcar está estimada em 74.100 kg/há (CONAB, 2013). Em um estudo com algumas variedades de sorgo sacarino BRS 511, BRS 508 e BRS 506 foram encontrados valores de TCH entre 62,57 a 43,53 t há<sup>-1</sup>, valores parecidos com o presente estudo (EMBRAPA, 2012).

Tabela 5 – Desdobramento da interação safras agrícolas dentro de variedades e épocas de maturação para TCH, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

Variedades	Safras	Épocas de maturação		
		115 DAP	123 DAP	131 DAP
BR 505	2009/2010	49.71 ±1,59 a A	50 ± 1,99 a A	47.33 ±1.46 b A
	2010/2011	55.62 ±1.44 b B	54.86 ± 3,02 b B	53.81 ±1,62 a A
BRS 506	2009/2010	46.67 ±1,28 a A	46.76 ±1,90 b A	51.80 ±1.57 a A
	2010/2011	57.24 ±0,71 a A	57.81 ±1,67 a A	51.68 ±1,34 a B

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

### 6.1.2 – Extração de Caldo

Para extração de caldo, observou-se diferenças significativas ( $P < 0,01$ ) apenas para épocas de maturação, com maior extração aos 123 DAP com 67%, seguido por 115 DAP, com 64% e 131 DAP com 60% de extração de caldo (peso caldo/peso colmo). De acordo com os resultados observados por Ribeiro (2008) o rendimento do caldo de sorgo sacarino em colmo limpo foi de 32,91% valor abaixo do encontrado no presente trabalho em todas as épocas de maturação do sorgo.

### 6.1.3 – Sólidos solúveis totais

O desdobramento da interação variedades dentro de épocas de maturação para sólidos solúveis totais (Brix) no caldo está apresentado na Tabela 6. Observa-se que os maiores valores de brix ocorreram aos 115 DAP, seguido por 123 DAP e 131 DAP para as duas variedades avaliadas. Verifica-se, que a variedade BR 505 apresentou rendimento de sólidos solúveis que a BRS 506 aos 115 DAP e a BR 506 apresentou maior brix quanto a variedade BR 505 aos 131 DAP. Aos 123 DAP não houve diferenças significativas entre as variedades. Borges *et al* (2006) analisando a composição do caldo extraído de colmos do sorgo sacarino genótipo BRS 506 para a produção de etanol encontraram porcentagens de sólidos solúveis (Brix) do caldo similar à cana-de-açúcar entre 18 a 21 ° Brix e após 34 dias após o florescimento, há uma ligeira redução da concentração de sólidos solúveis (Brix) para valores inferiores a 18%. De acordo com a literatura, a redução de sólidos solúveis presentes no caldo está relacionada com a conversão destes compostos, principalmente açúcares, em amido nos grãos como material de reserva e em material fibroso, sob a forma de celulose (TSUCHIHASHI e GOTO, 2004).

Nogueira (2005) descreve que o teor de açúcares em um caldo a ser fermentado depende da natureza e da composição química da matéria-prima, devendo ser compatível com o tipo de levedura a ser utilizada e com o processo empregado na fermentação alcoólica. Na cana-

de-açúcar, as faixas de variação aceitáveis do brix para a colheita é de 16 a 26 °Brix (MAIA, 2006), enquanto Ribeiro (2002) apresenta o caldo de sorgo com faixa de concentração de sólidos solúveis entre 14 e 22 °Brix. Porém, neste estudo, foi encontrado a concentração de sólidos solúveis na faixa de 19 a 23 °Brix. A determinação da concentração de sólidos solúveis é importante pois tem sido largamente empregada pelas indústrias de produção de açúcar e álcool como principal parâmetro para estimar a concentração de açúcares presente no caldo a ser fermentado (TSUCHIHASHI e GOTO, 2004).

Tabela 6 – Desdobramento da interação variedades dentro de épocas de maturação para sólidos solúveis totais no caldo, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

Variedades	Épocas de maturação		
	115 DAP	123 DAP	131 DAP
BR 505	23.43 ±0,15 a A	22.29 ±0,05 a B	19.72 ±0,69 b C
BRS 506	22.71 ±0,10 b A	21.80 ±0,03 a B	20.71 ±0,67 a C

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste tukey a 5%.

#### 6.1.4 – pH do caldo

O desdobramento da interação variedades dentro de épocas de colheita para pH do caldo, está apresentado na Tabela 7. Observa-se que a variedade BR 505 apresentou maiores valores de pH aos 123 DAP e a BRS 506 apresentou maiores valores de pH do caldo aos 115 e 123 DAP. Pode-se verificar que a variedade BR 505 apresentou menores valores de pH em todas as épocas de colheita em comparação à BRS 506.

Os valores encontrados em todas as épocas de maturação do sorgo foram próximos aos encontrados por Ribeiro (2008), entre 4,5 e 5,5, faixa de crescimento ótimo para *Saccharomyces cerevisiae*. O pH do caldo da cana-de-açúcar varia entre 5,2 a 6,8 e abaixo desses valores há indício de que o caldo foi obtido de maturação tardia com deteriorização (Lima, 2001, Cardoso 2006). Franco *et al.* (1996) sugerem que o pH entre 6,5 e 7,5 é o mais favorável para a maioria dos micro-organismos. Assim, o controle de pH é indispensável durante o processo de fermentação alcoólica; são recomendáveis valores de pH iniciais, que podem variar de 3,8 a 4,0; esta faixa de pH utilizada pode ser suficiente para permitir uma fermentação alcoólica rápida e inibir bactérias indesejáveis (Aquarone *et al.*, 1983). Silva (2002) estudando o processo fermentativo no caldo da algaroba obteve os melhores rendimentos para um pH médio de 4,7. Os valores de pH encontrados são mais baixos que os descritos para cana-de-açúcar e encontram-se na mesma faixa de crescimento ótimo da levedura além de fora da faixa de crescimento favorável à maioria dos microrganismos. Desta forma, os dados sugerem que o

caldo de sorgo não precisa de adições de componentes ácidos ao contrário da cana-de-açúcar, que devido a sua faixa de pH apresenta necessidade de aumento de acidez para se obter uma boa fermentação (RIBEIRO, 2002).

Tabela 7 – Desdobramento da interação variedades dentro de épocas de maturação para pH do caldo, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

Variedades	Época de maturação		
	115 DAP	123 DAP	131 DAP
BR 505	4.65 ±0,06 b B	4.98 ±0,00 b A	4.62 ±0,09 b B
BRS 506	5.17 ±0,03 a A	5.15 ±0,00 a A	4.94 ±0,05 a B

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

### 6.1.5 – pH do vinho

O desdobramento da interação variedades dentro de safras agrícolas para pH do vinho está apresentada na Tabela 8. Pode-se observar, que não houve diferenças significativas entre as variedades na safra 2009/2010 e na safra 2010/2011 a BR 505 apresentou menor valor de pH. Verifica-se também, que a safra 2010/2011 apresentou menores valores para pH do vinho em relação a safra 2009/2010.

**Tabela 8.** Desdobramento da interação variedades dentro de safras agrícolas para pH do vinho, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2011/2012.

Variedades	Safras	
	2009/2010	2010/2011
BR 505	4.24 ±0,14 a A	3.83 ±0,08 b B
BRS 506	4.24 ±0,10 a A	3.87 ±0,06 a B

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na Tabela 9, está apresentado o desdobramento da interação variedades dentro de épocas de maturação para pH do vinho. Para as duas variedades, observa-se maiores valores do pH do vinho aos 115 e 123 DAP, os quais são significativamente iguais. Contudo, aos 131 DAP, a variedade BR 505 apresentou menor valor para pH do vinho.

Tabela 9 – Desdobramento da interação variedades dentro de épocas de maturação para pH do vinho, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

Variedades	Épocas de maturação		
	115DAP	123DAP	131DAP
BR 505	4.09 ±0,30 a A	4.11 ±0,21 a A	3.91 ±0,16 b B
BRS 506	4.07 ±0,28 a A	4.1 ±0,19 a A	3.99 ±0,13 a B

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na Tabela 10, encontra-se o desdobramento da interação safras agrícolas dentro de épocas de maturação para pH do vinho. Verifica-se na safra 2009/2010, maior valor de pH do vinho aos 115 DAP, seguido por 123 DAP e 131 DAP. Na safra 2010/2011, maiores valores de pH do vinho ocorreram aos 123 DAP, seguido por 115 e 131 DAP, os quais não foram diferentes entre si. Pode-se observar maiores valores de pH do vinho na safra 2009/2010. Neste experimento o pH variou de 3,81 a 4,35 valores bem próximos aos desejáveis na fermentação. Durante a fermentação o pH desejável em mostos de cana-de-açúcar situa-se normalmente entre 4,0 e 5. Em estudo realizado por Pereira (2007), no mosto para a fabricação de cachaça, o pH variou de 5,4 a 3,0, uma variação de concentração que foi observada no presente estudo. As interações presentes no pH do vinho sugerem que a fonte de variabilidade sejam inerentes ao cultivo e à variedade de sorgo utilizado, aspectos climático também poderiam influenciar nesta variável.

Tabela 10 - Desdobramento da interação entre safras agrícolas dentro de épocas de maturação para pH do vinho, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

Safras	Épocas de maturação		
	115 DAP	123 DAP	131 DAP
2009/2010	4.35 ±0,00 a A	4.29 ±0,01 a B	4.08 ±0,00 a C
2010/2011	3.81 ±0,06 b B	3.92 ±0,04 b A	3.82 ±0,00 b B

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

### 6.1.6 – Acidez total do vinho

O desdobramento da interação safras agrícolas dentro de épocas de colheita para ATV, está apresentada na Tabela 11. Pode-se observar menor valor para ATV aos 123 DAP na safra 2009/2010 e aos 115 e 123 DAP na safra 2010/2011. A qualidade do produto final está relacionada com menor acidez no vinho, pois o grau de acidez constitui um fator de qualidade (LIMA, 2001).

Tabela 11 – Desdobramento da interação safras agrícolas dentro de épocas de maturação ATV, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

Safras	Épocas de maturação					
	115 DAP		123 DAP		131 DAP	
2009/2010	12.4 ±0,31	a A	11.05 ±0,25	b B	12.3 ±0,29	b A
2010/2011	12.3 ±0,29	a B	12.35 ±0,70	a B	13.1 ±0,46	a A

### 6.1.7 – Teor alcoólico do vinho

Na Tabela 12, está apresentado o desdobramento da interação variedades dentro de épocas de maturação e safras agrícolas para TAV. Verifica-se maior TAV aos 115 DAP na safra 2009/2010 para ambas variedades e menores valores aos 123 e 131 DAP, os quais não diferiram entre si. Na safra 2010/2011, observou-se maiores TAV aos 115 DAP para ambas variedades e aos 131 DAP para a variedade BRS 506. Pode-se observar maiores valores de TAV na safra 2010/2011 para as duas variedades avaliadas e pelas três épocas de maturação (Tabela 13).

Tabela 12 – Desdobramento da interação variedades dentro de épocas de maturação e safras agrícolas para TAV, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

Safras	Variedades	Épocas de maturação					
		115 DAP	123 DAP	131 DAP			
2009/2010	BR 505	6.9 ±0,05	a A	5.73 ±0,17	a B	5.72 ±0,12	a B
	BRS 506	6.76 ±0,06	a A	5.85 ±0,08	a B	5.71 ±0,11	a B
2010/2011	BR 505	7.60 ±0,43	a A	7.10 ±0,35	a B	6.63 ±0,01	b C
	BRS 506	7.57 ±0,54	a A	6.80 ±0,03	a B	7.21 ±0,37	a A

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 13 – Desdobramento da interação safras agrícolas dentro de variedades e épocas de maturação para TAV, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

Variedades	Safras	Épocas de maturação					
		115 DAP	123 DAP	131 DAP			
BR 505	2009/2010	6.9 ±0,05	a A	5.73 ±0,17	a B	5.72 ±0,12	a B
	2010/2011	7.60 ±0,43	b A	7.10 ±0,35	b B	6.63 ±0,01	b C
BRS 506	2009/2010	6.76 ±0,06	a A	5.85 ±0,08	a B	5.71 ±0,11	a B
	2010/2011	7.57 ±0,54	b A	6.80 ±0,03	b B	7.21 ±0,37	b A

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores alcoólicos do vinho das amostras apresentaram valores médios entre 5,7% e 7,6% (v/v) de álcool. Valores parecidos foram encontrados por Ribeiro Filho *et al.*, (2008) em estudo de fermentação de caldo de sorgo por *S. cerevisiae* (Fleischmann Royal). Valores baixos do teor alcoólico podem ser ocasionados por contaminação ou pela acidificação do meio pelas próprias leveduras que produzem ácido acético a partir do etanol (MAIA e CAMPELO, 2006). Segundo Maia (2006) o teor alcoólico do vinho encontrado na aguardente de cana deve ser em torno de 6,8% a 8,5%. Baseado nestas informações, os dados sugerem que a época de maturação de 115 DAP deve ser a mais propícia, pois apresenta valores de TAV dentro da faixa determinada em outros trabalhos.

## **6.2 – Análises físico-químicas da aguardente de sorgo sacarino em três épocas de maturação nas safras 2009/2010 e 2010/2011**

Os resumos das análises de variâncias conjuntas para alcoóis superiores, em mg/ 100mL de álcool anidro, acetato de etila, em mg.100 mL de álcool anidro, acetaldeído, em mg.100 mL de álcool anidro, acidez volátil, em mg.100 mL de álcool anidro, n-butílico, em mg.100 mL de álcool anidro e carbamato de etila, em  $\text{mgL}^{-1}$ , envolvendo as safras 2009/2010 e 2010/2011, estão apresentadas na Tabela 14. Observa-se diferença significativa ( $P \leq 0,01$ ) entre variedades para acetato de etila e carbamato de etila. Verificou-se também diferença significativa ( $P \leq 0,01$ ) entre épocas de maturação para acetato de etila, acidez volátil, álcool n-butílico e carbamato de etila, indicando diferenças entre as colheitas realizadas aos 115, 123 e 131 DAP para estes caracteres. Foi constatada diferença significativa ( $P \leq 0,01$ ) entre as safras 2009/2010 e 2010/2011 para os caracteres acetaldeído e acidez volátil, sugerindo que as condições climáticas influenciaram de maneira diferente na qualidade da aguardente nas safras avaliadas. Também foram analisados teores de cobre, em  $\text{mgL}^{-1}$ , de metanol, em mg.100 mL de álcool anidro, aldeídos como acroleína mg.100 mL de álcool anidro, furfural e 5-hidroximetilfurfural, em mg.100 mL de álcool anidro, 5-metilfurfural, benzaldeído, isovaleraldeído, formaldeído, propionaldeído e o grupo cetonas como o 2,3 butadiona e a acetona.

Observou-se interação variedades x épocas de maturação significativa ( $P \leq 0,01$ ) para acetato de etila e carbamato de etila, mostrando que o comportamento das variedades não foi coincidente nas épocas de colheita para estes caracteres. Observou-se interação variedades x safras significativa ( $P \leq 0,05$ ) apenas para acetato de etila, mostrando que o comportamento das variedades não foi coincidente nas safras avaliadas. Observou-se interação épocas x safras significativa ( $P \leq 0,05$ ) apenas para acidez volátil mostrando que o comportamento das épocas de maturação não foi coincidente nas safras avaliadas.



Tabela 14 – Resumo das análises de variâncias conjuntas para álcoois superiores, emmg.100 mL de A.A., acetato de etila, em mg.100 mL de A.A., acetaldeído, em mg.100 mL de A.A., acidez volátil, em mg. 100 mL de A.A., n-butílico, em mg.100 mL A.A. e carbamato de etila, em mgL, obtidos na avaliação de variedades de sorgo sacarino, nas safras 2009/2010 e 2010/2011. . FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; V: variedades; E: épocas; S: safras. CV: coeficiente de variação. SD: desvio padrão

FV	GL	Alcoóis Sup	Ac. de etila	Acetaldeído	Ac Volátil	n-butílico	Carbamato
(V/E)/S	12	834.36	0.92	1.45	2.40	0.03	0.002336
V	1	1024.00 NS	38.56 **	1.50 NS	23.52 NS	0.07 NS	0.165378 **
E	2	3419.11 NS	127.93 **	2.30 NS	262.18 **	0.54 **	0.023786 **
S	1	427.11 NS	0.37 NS	2481.04 **	311.29 **	0.15 NS	0.000011 NS
V x E	2	464.33 NS	35.31 **	2.74 NS	6.27 NS	0.18 NS	0.055386 **
V x S	1	40.11 NS	7.00 *	3.53 NS	7.69 NS	0.16 NS	0.000044 NS
E x S	2	648.44 NS	3.58 NS	0.54 NS	223.02 **	0.03 NS	0.001319 NS
V x S x E	2	280.78 NS	3.05 NS	4.46 NS	5.84 NS	0.01 NS	0.001186 NS
Resíduo	12	1051.97	1.25	3.30	7.27	0.06	0.002825
Média		311.61	6.67	12.20	23.72	1.09	0.0543889
CV(%)		10.41	16.72	14.88	11.37	22.20	9.772351
SD		29,93	0,39	0,81	2,08	0,04	0,005565

### 6.2.2 – Alcoóis superiores

Para o parâmetro alcoóis superiores não houve diferença significativa para nenhuma variável estudada. Todas as amostras das bebidas apresentaram-se dentro dos padrões exigidos pelo MAPA, entre 295,33 a 343,67 mg por 100 mL de álcool anidro representados nas Figuras 15 e 16. O limite máximo da soma das concentrações destes alcoóis é de 360 miligramas por 100 mililitros de álcool anidro (BRASIL, 2005). Os teores de alcoóis superiores foram obtidos pela soma dos alcoóis n-propílico, isobutílico e isoamílico. Miranda (2007) trabalhando com aguardente de cana, obteve média de 298,49 mg de alcoóis superiores por 100 mL de álcool anidro, semelhantes aos valores encontrados no presente trabalho. De acordo Janzanti, (2004) a quantidade de alcoóis superiores é influenciada por fatores como a composição do mosto, a temperatura, níveis de aeração durante a fermentação e pela linhagem da levedura.

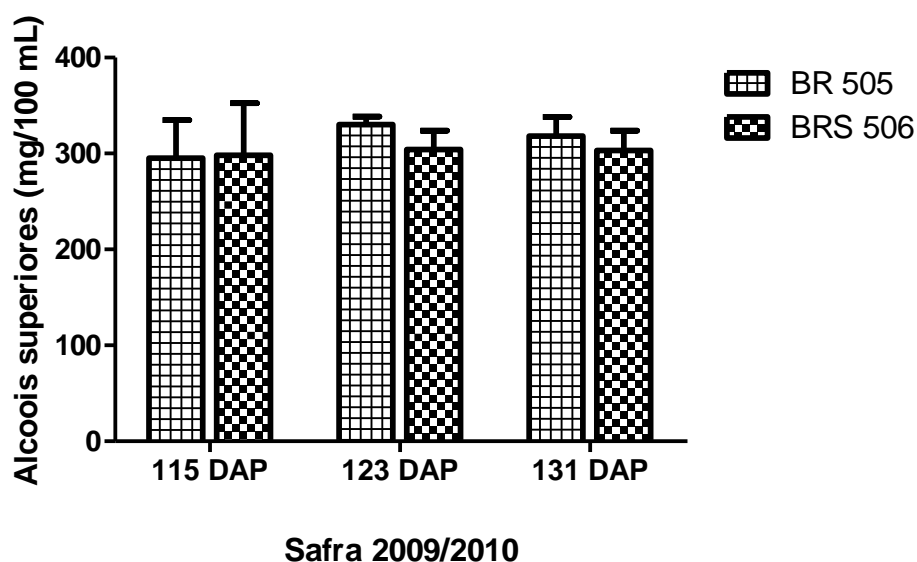


Figura 15 – Teores de alcoóis superiores das aguardentes produzidas de duas variedades de sorgo sacarino (BR 505 e BRS 506) analisada sob diferentes épocas de maturação (115 DAP, 123 DAP e 131 DAP) na safra 2009/2010.

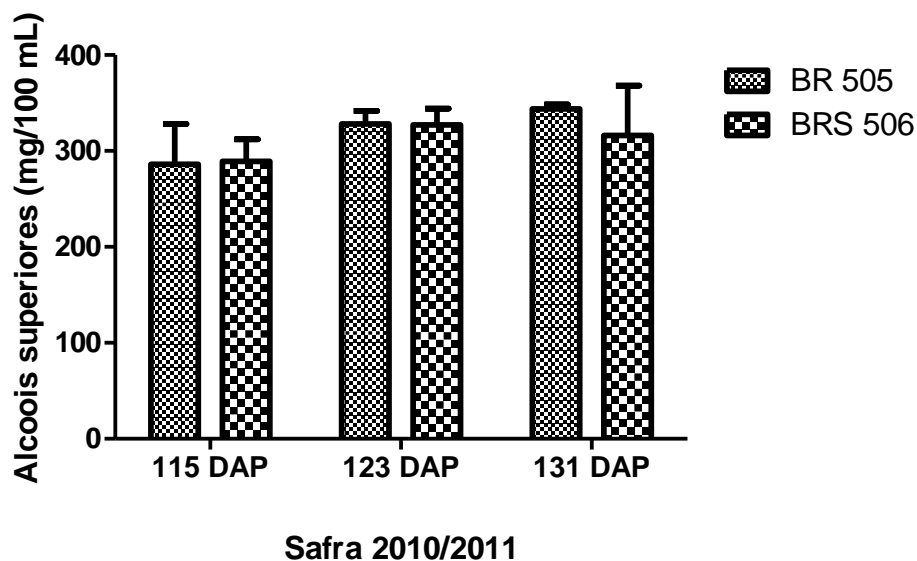


Figura 16 – Teores de alcoóis superiores das aguardentes produzidas de duas variedades de sorgo sacarino (BR 505 e BRS 506) analisada sob diferentes épocas de maturação (115 DAP, 123 DAP e 131 DAP) na safra 2010/2011.

### 6.2.3 – Acetato de etila

O desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para acetato de etila, obtidos na avaliação das variedades de sorgo sacarino, nas safras 2009/2010 e 2010/2011, está apresentada na Tabela 15. Observa-se menores valores aos 115 DAP com aumentos gradativos aos 123 DAP e 131 DAP. A variedade BR 505 apresentou menores valores de acetato de etila aos 115 e 123 DAP quando comparada com a variedade BRS 506. Estes dados sugerem que a maior concentração pode ser observada em 131 DAP na variedade BR 505.

Tabela 15 – Desdobramento da interação variedades x épocas de maturação para acetato de etila, obtidos na avaliação de variedades de sorgo sacarino, nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

Variedades	Épocas de maturação					
	115 DAP		123 DAP		131 DAP	
BR 505	2.55 ±0,50	b B	3.06 ±0,69	b B	11.3 ±2,06	a A
BRS 506	5.96 ±1,34	a C	7.69 ±1,28	a B	9.48 ±0,92	b A

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Cantão (2006) trabalhando com aguardente de cana encontrou valores de ésteres entre 13,25 a 63,17 mg/100 mL, com média de 31,6 mg/100 mL de álcool anidro. Em estudo com as frações do destilado de cana-de-açúcar, Alcarde *et al.* (2010) observaram destilação de grandes quantidades de ésteres e aldeídos nas frações iniciais, uma vez que estes compostos são bastante

voláteis. Desse modo a determinação da cabeça do destilado, relacionada às frações iniciais, influencia no teor de ésteres na cachaça. Todos os valores encontrados são abaixo dos sugeridos para cana-de-açúcar, assim, é possível que o substrato tenha tido maior influência sobre o metabolismo da leveduras resultando em uma menor quantidade de ésteres.

#### **6.2.4 – Acetaldeído**

Para a característica acetaldeído verificou-se apenas diferenças significativas ( $P \leq 0,01$ ) entre safras, com média de 20,5 na safra 2010/2011 e 3,9 na safra 2009/2010. Essa diferença pode estar relacionada com separação incorreta das frações cabeça durante a destilação já que os aldeídos estão presentes principalmente nesta fração. Segundo Maia (2002) é possível reduzir o teor de aldeídos na cachaça aumentando o tamanho do destilado de cabeça, mas esta prática acarreta perda simultânea de componentes desejáveis do aroma, especialmente ésteres, que também se concentram nos vapores iniciais do alambique. O teor de acetaldeído encontrado em aguardentes de cana-de-açúcar analisadas por Ferreira 2006 apresentaram valores na faixa de 3,1 a 24,0 mg/100 mL de álcool anidro, valores parecidos com os do presente estudo. Nascimento *et al.* (1997) analisando 56 amostras de aguardentes brasileiras encontraram uma média de 9,52 com variação de 3,30 a 20,00 mg/100 mL álcool anidro. O acetaldeído é o principal aldeído associado à fermentação alcoólica e aqueles com até oito átomos de carbono tem aroma penetrante e enjoativo, sendo indesejáveis em bebidas destiladas (MAIA, 1994). Durante a fermentação grande parte da fração aldeídica presente é separada na fração cabeça. Aguardentes ricas em acetaldeído são provenientes de alambiques que não separam os produtos da cabeça constituindo um grande erro de operação no equipamento (CARDOSO, 2006).

#### **6.2.5 – Acidez volátil**

O desdobramento da interação safras agrícolas x épocas de maturação para acidez volátil está apresentada na Tabela 17. Verificou-se diferenças entre épocas de colheita apenas na safra 2009/2010, com maior média, de 36,88, aos 115 DAP, seguido pelas épocas 123 e 131 DAP, os quais não diferiram entre si. A acidez volátil é um parâmetro que depende do processo fermentativo e do controle de alguns fatores como a cepa da levedura utilizada, tempo e temperatura da fermentação, manejo do mosto e higienização, que são essenciais para minimizar a sua ocorrência (CARDOSO, 2001). Desse modo, uma cachaça de baixa acidez inicial pode revelar seu grau de maturação pelo aumento da acidez volátil que, todavia, não desqualifica o produto no aspecto sensorial pelo conjunto agradável que forma com outros componentes (MIRANDA, 2005) Teores mais elevados de acidez volátil na cachaça podem estar relacionados a várias condições, entre elas o tipo de levedura utilizada na fermentação. (CARDOSO, 2001).

Uma das maneiras de se evitar altos teores de acidez volátil é evitar a aeração do mosto, durante a fermentação, já que o aumento de oxigênio faz com que o levedo transforme o açúcar em ácido acético em vez de etanol. Deve-se também proceder à destilação o mais breve possível, a fim de evitar a proliferação de bactérias acéticas.

De acordo com Silva e Nóbrega (2001), estudos com aguardentes em diversos locais do país demonstraram que acidez volátil na maioria das aguardentes apresentaram valores entre 61 a 90 mg de ácido acético/ 100 mL de etanol. Pereira *et al.* (2003) verificaram que, em 45 cachaças mineiras analisadas, apenas três estavam fora dos padrões exigidos pela legislação. O uso da cana-de-açúcar limpa e com baixo grau de contaminação por bactérias acéticas são fatores importantes para se obter uma aguardente com baixos teores de acidez, assim como, a não aeração do mosto (BOZA e HORII, 1998). Este parâmetro de qualidade está relacionado com vários fatores dentre eles, condições de higienização do alambique e equipamentos, uma fermentação ineficiente, tipos de leveduras utilizadas, condições da temperatura, tempo e aeração durante o processo fermentativo (CARDOSO, 2006; BOZA, 2000). O excesso de acidez diminui a qualidade da cachaça promovendo um sabor indesejado e ligeiramente agressivo (CHERUBIN, 1998).

Tabela 17 – Desdobramento da interação safras agrícolas x épocas de maturação para acidez volátil, obtidos na avaliação de variedades de sorgo sacarino, nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

Safras Agrícolas	Época de maturação					
	115 DAP		123 DAP		131 DAP	
2009/2010	36.88 ±1,57	a A	23.07 ±2,01	a B	20.03 ±1,64	a B
2010/2011	21.17 ±2,44	b A	20.74 ±2,31	a A	20.42 ±2,79	a A

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

### 6.2.6 – Álcool n-butílico

Para o álcool n-butílico observou-se diferenças significativas ( $P \leq 0,01$ ) entre épocas de maturação, com média de 1,31 aos 131 DAP, 1,07 aos 123 DAP e 0,89 mg.100 mL de álcool anidro aos 115 DAP. A colheita aos 115 DAP foram estatisticamente diferente da colheita aos 131 DAP, mas aos 123 DAP foi semelhante às duas épocas. A legislação atual estabelece, para aguardente, quantidade não superior a 3 mg/100 mL de álcool anidro (BRASIL, 2005). Schmidt *et al.* (2009), analisando as características físico-químicas de aguardentes produzidas na região do vale do Taquari encontraram em apenas uma amostra uma concentração acima dez vezes superior ao limite máximo estabelecido pela legislação brasileira. Parazi *et al.* (2008) avaliando e caracterizando os compostos químicos da aguardente de cana-de-açúcar envelhecida em tonéis

de carvalho encontraram nas amostras concentrações em média de 1,05 mg/100 mL de álcool n-butílico. Assim, para esta característica, as concentrações encontradas foram satisfatórias em relação à quantidade definida para aguardente.

### 6.2.7 – Carbamato de etila

O carbamato de etila encontrado nas amostras das aguardentes apresentou valores inferiores ao limite determinado pela legislação de 150  $\mu\text{g/L}$  (Brasil, 2010). O desdobramento da interação variedades dentro de épocas de maturação para esse parâmetro, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011 está apresentado na Tabela 18. Verifica-se diferenças entre épocas de maturação para as duas variedades avaliadas, com a BR 505 apresentando maior média aos 131 DAP em relação aos 115 e 123 DAP, que não diferiram entre si. A variedade BRS 506 apresentou maior média aos 123 DAP em relação aos 115 e 131 DAP, que não diferiram entre si. De qualquer forma, os valores observados nas diferentes épocas e/ou variedades foram baixos e atendem os padrões de qualidade. De acordo Júnior *et al.* (2007), analisando-se 22 amostras de cachaças da região da zona da mata mineira, apenas 5 amostras apresentaram teores abaixo de 0,150  $\text{mg.L}^{-1}$ , valor internacionalmente aceitável diferente dos valores encontrados nesse presente trabalho em que todas as amostras apresentaram valores abaixo de 0,150  $\text{mg.L}^{-1}$ . No Brasil, nos EUA e na Europa os teores de carbamato de etila das bebidas alcoólicas são comparados com os limites estabelecidos pelo Canadá, por ser o único país a possuir legislação específica sobre o assunto (DIER, 1994). Em 1985, o Canadá estabeleceu os seguintes limites de carbamato de etila para bebidas alcoólicas sendo 0,030; 0,100; 0,150 e 0,400  $\text{mg.L}^{-1}$  para vinhos, vinhos fortificados, bebidas destiladas e destilados de frutas e licores, respectivamente (LAWRENCE *et al.*, 1990).

O carbamato de etila é uma substância cancerígena que ocorre em vários alimentos fermentados, nas quais se forma a partir de reações entre etanol e certos compostos nitrogenados (LACHENMEIER *et al.*, 2010). Em amostras de cachaça produzidas em Minas Gerais, Zacaroni *et al.* (2011), relataram concentrações de carbamato de etila dentro do limite previsto na legislação para todas as amostras analisadas.

Tabela 18 – Desdobramento da interação variedades dentro de épocas de maturação para carbamato de etila, avaliadas nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

Variedades	Épocas de maturação		
	115 DAP	123 DAP	131 DAP
BR 505	0.04267 ±0,0021 B b	0.04317 ±0,0069 B b	0.0570 ±0,0049 A a
BRS 506	0.05583 ±0,0037 B a	0.0705 ±0,0062 A a	0.05717 ±0,0027 B a

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 6.2.8 – Cobre

De acordo com a análise dos resultados, em relação ao parâmetro cobre, todas as amostras apresentaram-se acima do limite máximo permitido. A legislação brasileira impõe um limite máximo para teores de cobre em aguardentes e cachaças de 5 mg/L. (BRASIL, 2005). No ano de 2010 os valores médios encontrados variaram entre 5,12 a 11,39 mg/L de a.a. e em 2011 houve variação maior com valores entre 13,67 a 17,76 mg/L. O cobre é proveniente da solubilização do “azinhavre” (carbonato básico de cobre) que se forma no interior do alambique e, principalmente, nas partes internas da serpentina (CARDOSO, 2001). Alta concentração desse contaminante nas aguardentes deve-se a uma higienização incorreta no alambique de cobre. Os resultados indicaram a necessidade de higienização no processo, visando eliminar este problema. Este metal é importante em pequenas quantidades na bebida, retirando os odores desagradáveis. Porém, em elevadas concentrações é indesejável, pois é prejudicial à saúde humana, sendo, portanto, fundamental sua quantificação (FARIA, 2003). Azevedo *et al.*, (2003) também detectou problemas quanto a cobre em cachaças produzidas em Minas Gerais.

Vilela *et al.* (2007) detectaram concentrações de cobre preocupantes em cachaças produzidas no sul de Minas Gerais, com valores variando entre 0,4 e 9 mg.L<sup>-1</sup>, sendo que 13 das 21 amostras analisadas apresentavam teores acima do limite permitido. Miranda *et al.* (2007) verificaram um teor médio de cobre de 2,57 mg.L<sup>-1</sup>, variando entre não detectado e 12,25 mg.L<sup>-1</sup>, sendo que 15% das amostras excederam o limite máximo previsto na legislação. Zacaroni *et al.* (2011) verificaram que 17% das 12 amostras de cachaça produzidas em Minas Gerais analisadas ultrapassaram o limite máximo para cobre estabelecido pela legislação. Em um estudo com amostras de cachaça produzidas no Estado de Minas Gerais, Labanca (2004) avaliou o teor de cobre em 71 amostras acima do limite máximo estabelecido e constataram que 7% das amostras estavam acima do limite estabelecido pela legislação brasileira. Verificou ainda, que

50% das amostras analisadas provenientes do Vale do Jequitinhonha não atenderam à especificação legal para este parâmetro.

### **6.2.9 – Metanol**

Não foram detectados a presença de metanol nas amostras, de acordo com a legislação limite estabelecido é de 25 mg/100 mL de álcool anidro. Vilela *et al.* (2007) constataram a presença de valores muito baixos de metanol em todas as amostras de cachaça produzidas no Sul de Minas Gerais. Já Souza *et al.* (2009) observaram teor de metanol acima do limite permitido em apenas uma (28,9 mg.100 mL<sup>-1</sup> de álcool anidro) das 30 amostras de cachaças do Rio de Janeiro. Caruso *et al.* (2010) detectaram teores de metanol variando entre 5 e 10 mg.100 mL<sup>-1</sup> de álcool anidro em 61 amostras de cachaça produzidas em diferentes estados. Este álcool é extremamente indesejável, por não efeitos agradáveis à bebida. A presença deste álcool na bebida pode estar ligada à má filtragem do caldo, o que possibilita a presença de bagacilhos no processo fermentativo, que podem ser degradados a metanol.

### **6.2.10 – Compostos furfúricos**

Não foram identificados a presença dos compostos furfural, 5-hidroximetilfurfural, 5-metilfurfural, a qual tem o limite máximo de 5,0 mg/100 mL de álcool anidro, portanto todas as amostras analisadas atendem às especificações de qualidade estabelecidas pela legislação. Teores elevados de furfural nas aguardentes e cachaças estão relacionados com a prática da queima da folhagem da cana, que acarreta desidratação parcial de uma pequena fração de açúcares presentes. O furfural também pode ser formado pela pirolisação de matéria orgânica depositada no fundo dos alambiques (YOKOYA, 1995). A prática de queimar a palha da cana antes da colheita é proibida em Minas Gerais na fabricação da cachaça (MINAS GERAIS, 2008). O aquecimento dos alambiques com fogo direto pode causar também a formação de furfural (VARGAS, 1998). Durante a destilação pode também ocorrer reação de Maillard que é a principal fonte de compostos heterocíclicos como furanos, pirazinas e piridinas (LÉAUTÉ, 1990). O aquecimento dos alambiques com fogo direto pode causar também a formação de furfural (VARGAS, 1995).

### **6.2.11 – Acroleína e cetonas**

Presença de acroleína não foi detectada, encontrando-se, portanto abaixo do limite superior estabelecido pela legislação de e 5,0 mg/100 mL de álcool anidro. Sobre este composto são encontrados poucos relatos sobre a presença do mesmo em aguardentes de cana. Analisando 56 amostras de aguardentes de cana de vários estados do Brasil, Nascimento e colaboradores encontraram concentrações que variaram de não detectada a 0,660 mg/100 mL de álcool anidro



(NASCIMENTO *et al.*, 1997). Avaliando a presença de acroleína em aguardentes de cana produzidas com três linhagens de leveduras com temperatura de fermentação controlada (20 e 32 °C), Braga encontrou valores inferiores a 0,7 mg/100 mL de álcool anidro para o contaminante (BRAGA, 20006). Também não foi detectado a presença de 2,3 butadiona e acetona nas amostras.

### 6.3 – Análises agronômicas e físico-químicas do caldo e vinho do sorgo sacarino em três épocas de colheita na safra 2011/2012

Os resumos das análises de variâncias conjuntas envolvendo épocas de colheita para toneladas de colmos por hectare (TCH), em t ha<sup>-1</sup>, extração de caldo, em %, sólidos solúveis totais no caldo (Brix), em °B, açúcar redutor (AR), em %, açúcar redutor total (ART), em %, pH do caldo (pH C), pH do vinho (pH V), acidez total do vinho (ATV), em gramas de ácido acético por 100mL<sup>-1</sup> de vinho, teores alcoólicos no vinho (TAV), em % (v/v) de álcool, estão apresentadas nas tabelas 19a e 19b. Observa-se diferença significativa (P ≤ 0,01) entre variedades para TCH, extração, Brix, AR e ATV, mostrando diferenças genéticas entre os cultivares para estes caracteres. Observou-se também diferença significativa (P ≤ 0,05) entre épocas de colheita para TCH, extração, Brix, AR, ART, pH C, pH V, ATV e TAV, mostrando diferenças de produtividade e da qualidade do caldo e do vinho entre as colheitas realizadas nos meses de fevereiro, março e abril para estes caracteres. Observou-se interação variedades x épocas de colheita significativa (P ≤ 0,05) para Brix, AR e ART, mostrando que o comportamento das variedades não foi coincidente nas épocas de colheita.

Tabela 19a – Resumo das análises de variâncias conjuntas para toneladas de colmos por hectare (TCH), em t ha<sup>-1</sup>, extração de caldo, em %, sólidos solúveis no caldo (Brix), em °B, açúcar redutor (AR), em %.

FV	GL	TCH	Extração	Brix	AR
<b>Bloco/Época</b>	6	4.72	3.69	0.05	0.00
<b>Variedades</b>	1	168.12 **	69.54 **	4.30 **	0.45 **
<b>Época</b>	2	80.23 **	411.95 **	13.75 **	0.10 **
<b>V x E</b>	2	1.40 NS	17.66 NS	2.17 **	0.24 **
<b>RESÍDUO</b>	6	7.16	4.31	0.10	0.00
<b>MÉDIA</b>		52.78	57.69	20.39	1.01
<b>CV(%)</b>		5.07	3.60	1.54	0.40
<b>SD</b>		10,41	16,02	13,24	2,52

Tabela 19 b – Resumo das análises de variâncias conjuntas para açúcar redutor total (ART), em %, pH do caldo (pH C), pH do vinho (pH V), acidez total do vinho (ATV), em gramas de ácido acético por 100mL<sup>-1</sup> de vinho, teores alcoólicos no vinho (TAV), em % (v/v) de álcool, obtidos na avaliação de variedades de sorgo sacarino, na safra 2011/2012.

FV	ART		pH C		pH V		ATV		TAV	
<b>Bloco/Época</b>	0.00		0.02		0.00		0.15		0.15	
<b>Variedades</b>	0.00	NS	0.03	NS	0.02	NS	2.82	**	0.02	NS
<b>Época</b>	50.35	**	0.12	*	0.16	**	12.58	**	0.2	**
<b>V x E</b>	0.53	**	0.05	NS	0.00	NS	0.03	NS	0.01	NS
<b>RESÍDUO</b>	0.00		0.01		0.01		0.08		0.03	
<b>MÉDIA</b>	17.50		4.36		3.64		11.16		7.31	
<b>CV(%)</b>	0.22		2.76		2.07		2.61		2.49	

Na tabela 20, estão apresentados os valores médios das variedades para TCH, extração e ATV. Pode-se observar que o desempenho da variedade BRS 506 foi superior para estes três caracteres, os quais são diretamente relacionados com o rendimento de aguardente por hectare.

Tabela 20 – Valores médios para toneladas de colmos por hectare (TCH), em t ha<sup>-1</sup>, extração de caldo, em %, acidez total do vinho (ATV), em gramas de ácido acético por 100 mL<sup>-1</sup> de vinho, obtidos na avaliação de duas variedades de sorgo sacarino na safra 2011/2012.

Variedades	TCH		Extração		ATV				
BR 505	49.73	±2,43	b	55.73	±1,40	a	10.77	±0,46	b
BRS 506	55.84	±1,15	a	59.66	±1,71	a	11.56	±0,33	a

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores médios para toneladas de colmos por hectare (TCH), em t ha<sup>-1</sup>, extração de caldo, em %, pH do caldo (pH C), pH do vinho (pH V), acidez total do vinho (ATV), em gramas de ácido acético por 100 mL<sup>-1</sup> de vinho e teores alcoólicos no vinho (TAV), em % (v/v) de álcool, obtidos na colheita de sorgo sacarino em diferentes épocas (Fevereiro, março e abril), estão apresentados na Tabela 21. Verifica-se maiores valores médios nos meses de março e abril para TCH, extração, pH do vinho, ATV e TAV. Já para o pH do Caldo, não houve diferenças entre fevereiro e março, mas abril apresentou menor valor médio. Considerando fornecimento de sorgo sacarino para produção de aguardente, verifica-se maiores rendimentos e qualidade da matéria-prima quando a colheita é realizada nos meses de março e abril na região de estudo.

Tabela 21 – Valores médios para toneladas de colmos por hectare (TCH), em  $t\ ha^{-1}$ , extração de caldo, em %, pH do caldo (pH C), pH do vinho (pH V), acidez total do vinho (ATV), em gramas de ácido acético por  $100\ mL^{-1}$  de vinho, teores alcoólicos no vinho (TAV), em % (v/v) de álcool, obtidos na colheita de sorgo sacarino em diferentes épocas, na safra 2011/2012.

	TCH		Extração		pH C		pH V		ATV		TAV	
Fev	48.57 ±3,49	b	48.29 ±1,62	b	4.45 ±0,08	a	3.5 ±0,04	b	9.94 ±0,63	c	7.1 ±0,56	b
Mar	55.16 ±4,48	a	60.87 ±3,86	a	4.43 ±0,12	a	3.8 ±0,07	a	10.79 ±0,55	b	7.38 ±0,24	a
Abr	54.62 ±4,02	a	63.92 ±3,57	a	4.20 ±0,17	b	3.7 ±0,07	a	12.76 ±0,39	a	7.44 ±0,57	a

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para sólidos solúveis totais no caldo ( $^{\circ}$ Brix), está apresentado na Tabela 22. A variedade BR 505 apresentou maior média nos meses de março e abril, mas não diferindo significativamente da variedade BRS 506 no mês de fevereiro. Para a variedade BR 505 não houve diferença entre as colheitas de março e abril, mas para a variedade BRS 506 a maior média foi no mês de abril. Quanto às épocas de colheita, verifica-se maiores valores de sólidos solúveis no caldo nas colheitas realizadas nos meses de março e abril, que resulta em melhor qualidade do caldo e maior rendimento de aguardente. Observou-se que no mês de fevereiro os valores de Brix encontrados foram abaixo dos demais meses, provavelmente devido ao sorgo colhido em fevereiro ter sido plantado em outubro e o seu processo de crescimento ter ocorrido em um período de excesso hídrico, provocado pelas chuvas intensas ao contrário das outras plantas que se desenvolveram com pequenas quantidades de chuvas e altas temperaturas. Os valores encontrados nesse estudo são superiores aos determinados por Bolonhezi *et al.* (2012), que avaliou o brix em variedades de sorgo sacarino CVSW80007 e CVSW80147 colhidos aos 110 dias após o plantio e encontrou valores próximos a  $15^{\circ}$  Brix.

Tabela 22 – Desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para sólidos solúveis totais no caldo (Brix), em  $^{\circ}$ B, avaliados na safra 2011/2012.

Variedades	Épocas					
	Fevereiro		Março		Abril	
BR 505	18.63 $\pm$ 0,05	B a	21.90 $\pm$ 0,10	A a	22.10 $\pm$ 0,17	A a
BRS 506	18.80 $\pm$ 0,10	C a	19.67 $\pm$ 0,57	B b	21.23 $\pm$ 0,20	A b

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para açúcar redutor (AR), em %, está apresentado na Tabela 23. A variedade BR 505 apresentou maior média no mês de março, seguido por abril e fevereiro, mas com valores sempre inferiores a um por cento. A variedade BRS 506 apresentou maior média no mês de fevereiro, 1,55%, seguido por março e abril, que obtiveram valores inferiores a um por cento. Estes valores encontrados no presente estudo são correspondentes ao apresentado por Pacheco (2012), que aponta valores variando de 1 a 3% no caldo do sorgo sacarino. Na cana-de-açúcar madura o teor de açúcares redutores é de 1% e o de sacarose em torno de 14%. As canas não devem ser colhidas com menos de 14% de açúcares que corresponde a  $18^{\circ}$  Brix (LIMA, 2001). Viana *et al.* (2008) observaram na mesma cultivar de cana-de-açúcar que os valores de AR decresceram significativamente com o passar do tempo. A redução da concentração de açúcares redutores pode ser explicada pela conversão

destes açúcares em amido, acumulado nos grãos. Em comparação à cana-de-açúcar, o sorgo sacarino apresenta maior concentração de açúcares redutores no caldo (Gonçalves *et al.*, 1997).

Tabela 23 – Desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para açúcar redutor (AR), em %, avaliados na safra 2011/2012.

AR	Fevereiro		Março		Abril	
BR 505	0.77 ±0,00	C b	0.93 ±0,00	A b	0.87 ±0,01	B b
BRS 506	1.54 ±0,00	A a	1.01 ±0,00	B a	0.96 ±0,00	C a

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para açúcar redutor total (ART) no caldo, em %, está apresentado na tabela 24. No mês de fevereiro a variedade BRS 506 apresentou maior média e a variedade BR 505 apresentou maiores médias nos meses de março e abril. Considerando épocas de colheita, verifica-se maiores valores de ART no caldo nas colheitas realizadas nos meses de março e abril, confirmando a melhor qualidade do caldo nestes períodos. Estes valores foram superiores aos obtidos por Santos *et al.* (2010), que relataram valores próximos a 10% e aos encontrados por Ribeiro Filho *et al.* (2008) 9,81% de ART no caldo do sorgo sacarino em colmo limpo. A porcentagem de açúcares redutores totais do caldo do sorgo extraído das variedades BR 505 e BR 506 foram similares à cana-de-açúcar que possui em média de 16 a 19% de ART (VON PINHO e DE VASCONCELOS, 2002).

Tabela 24 – Desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para açúcar redutor total (ART), em %, avaliados na safra 2011/2012.

ART	Fevereiro		Março		Abril	
BR 505	13.81 ±0,01	C b	19.20 ± 0,01	B a	19.47 ±0,00	A a
BRS 506	14.51 ±0,00	C a	18.83 ±0,00	B b	19.16 ±0,00	A b

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste tukey a 5%.

#### 6.4 – Análises físico-químicas da aguardente do sorgo sacarino em três épocas de colheita na safra 2011/2012

Os resumos das análises de variâncias conjuntas entre épocas de colheita para álcoois superiores, em mg/100 mL de A.A., acetato de etila, em mg/100 mL de A.A., acetaldeído, em mg/100 mL de A.A., acidez volátil em mg/100 mL de A.A., n-butílico, em mg/100 mL de A.A. e carbamato de etila, em mgL<sup>-1</sup>, na safras 2011/2012, estão apresentadas na Tabela 25.

Observa-se diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre variedades para acetato de etila, acetaldeído e acidez volátil. Observou-se também diferença significativa ( $P \leq 0,01$ ) entre épocas de colheita para acetato de etila, acidez volátil, álcool n-butílico e carbamato de etila, indicando diferenças entre as colheitas realizadas nos meses de fevereiro, março e abril para estes caracteres. Observou-se interação variedades x épocas de colheita significativa ( $P \leq 0,05$ ) para acetato de etila, acetaldeído, acidez volátil e n-butílico, sugerindo que o comportamento das variedades não foi coincidente nas diferentes épocas de colheita para estes caracteres.

Tabela 25 – Resumo das análises de variâncias conjuntas entre épocas de colheita para álcoois superiores, em mg.100 mL de A.A., acetato de etila, em mg.100 mL de A.A., acetaldeído, em mg.100 mL de A.A., acidez volátil, em mg.100 mL de A.A., n-butílico, em mg.100 mL de A.A., e carbamato de etila, em mgL<sup>-1</sup>, obtidos na avaliação de variedades de sorgo sacarino, na safra 2011/2012.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>Alcool Sup</b>	<b>Acetato de Etila</b>	<b>Acetaldeído</b>	<b>Ac Volátil</b>	<b>n-butílico</b>	<b>Carbamato</b>
Bloco/Época	6	2030.06	0.18	1.81	1.01	0.03	0
Variedade	1	2026.72 NS	6.13 **	7.21 *	99.55 **	0.03 NS	0.00001 NS
Época	2	1807.39 NS	27.60 **	7.00 NS	1072.67 **	2.99 **	0.00297 **
V x E	2	2652.72 NS	3.70 *	8.18 *	68.15 **	0.06 **	0 NS
RESÍDUO	6	2263.39	0.38	0.77	2.55	0.00	0.00002
MÉDIA		460.28	3.37	10.85	24.25	0.80	0.0268
CV(%)		10.34	18.18	8.08	6.58	8.65	15.19535

Para a característica alcoóis superiores, não houve diferenças significativas entre variedades e épocas de colheita, nem interação significativa, apresentando uma média geral de 460,28 mg/100 mL de A.A, representados na Figura 19. Os teores destes alcoóis foram acima do permitido pela legislação, que é de 360 mg/100 mL de álcool anidro (BRASIL, 2005). A produção desses alcoóis deve ser controlada por algumas condições do meio, entre elas, a temperatura de fermentação, a concentração de açúcares, o pH, o conteúdo e o tipo de nitrogênio disponível, a aeração e a linhagem da levedura (FICAGNA, 2005). A temperatura provavelmente pode ter sido um fator responsável pelo teor de alcoóis superiores da aguardente de sorgo acima da legislação, pois em 2012 a temperatura da fermentação foi mais elevada que nos anos anteriores. Para Etievant (1991) a formação de alcoóis superiores está diretamente ligada a temperatura de fermentação. Segundo Bardi *et al.* (1997) a concentração total de alcoóis eleva-se quando há um aumento na temperatura de fermentação. Braga (2006) observou que linhagens de *Saccharomyces cerevisiae* produziram maiores teores de alcoóis superiores em fermentações realizadas a 32° C. De acordo Cardoso (2001) os álcoois superiores e os ésteres devem estar presentes em aguardente de qualidade em uma proporção equilibrada, pois à medida que a cadeia carbônica dos álcoois aumenta, estes podem tornar-se oleosos, lembrando fortemente aroma de flores, modificando o aroma da aguardente, desvalorizando assim a bebida. Silva *et al.* (2009) analisando os compostos voláteis de cachaças produzidas em escala de laboratório, em 11 amostras encontraram fora do padrão exigidos pela a legislação.

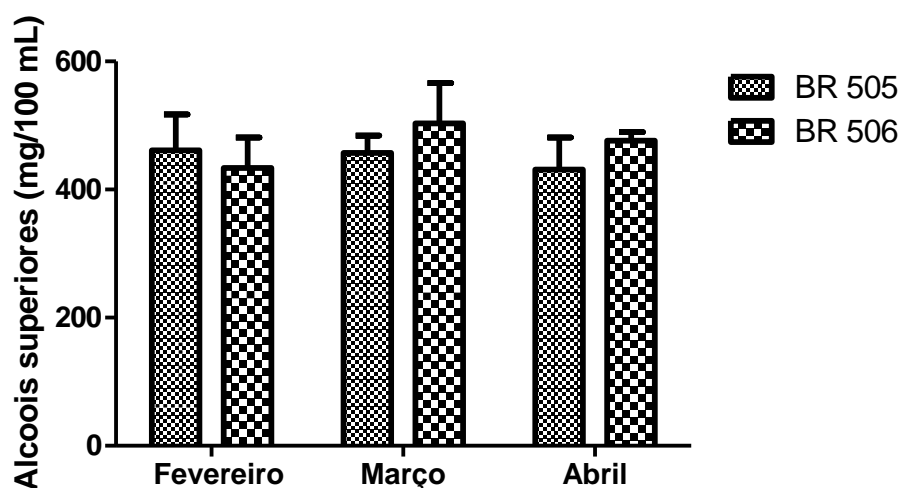


Figura 19 – Teores de alcoóis superiores das aguardentes produzidas de duas variedades de sorgo sacarino (BR 505 e BRS 506) analisada sob diferentes épocas de corte (fevereiro, março e abril) na safra 2011/2012.

O desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para acetato de etila está apresentado na Tabela 26. Verifica-se maiores valores para a cultivar BRS 506 nos meses de



fevereiro e março, mas em abril não houve diferença entre as variedades. Para épocas de colheita, observa-se maiores valores no mês de abril, seguido por março e fevereiro, que não diferiram entre si.

Tabela 26 – Desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para acetato de etila, avaliadas na safra 2011/2012.

Variedades	Fevereiro		Março		Abril	
BR 505	1.28 ±0,08	B b	0.99 ±0,03	B b	6.09 ±0,78	A a
BRS 506	2.68 ±0,31	B a	3.60 ±0,59	B a	5.59 ±0,76	A a

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para acetaldeído, está apresentado na Tabela 27. Verifica-se maiores valores para a variedade BRS 506 nos meses de março e abril. Para épocas de colheita, não houve diferenças para a variedade BR 505 e a variedade BRS 506 apresentou maiores valores nas colheitas nos meses de março e abril.

Tabela 27 – Desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para acetaldeído, avaliadas na safra 2011/2012.

Variedades	Fevereiro		Março		Abril	
BR 505	10.33 ±1,39	A a	9.83 ±0,86	A b	10.50 ±0,87	A b
BRS 506	8.92 ±1,07	B a	12.73 ±1,16	A a	12.81 ±0,17	A a

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para acidez volátil, está apresentado na Tabela 28. Diferença entre variedades foi verificada na colheita do mês de março, quando a variedade BRS 506 apresentou maior média. Quanto as épocas de colheita, verificou-se menores valores médios no mês de fevereiro para as duas variedades. Para a variedade BR 505 não houve diferenças entre as colheitas nos meses de março e abril, contudo, a variedade BRS 506 apresentou maior média no mês de março.

Tabela 28 – Desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para acidez volátil, avaliadas na safra 2011/2012.

Variedades	Fevereiro		Março		Abril	
BR 505	9.16 ±1,04	B a	28.15 ±0,91	A b	28.38 ±0,67	A a
BRS 506	9.01 ±0,93	C a	40.55 ±2,50	A a	30.24 ±1,05	B a

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para o álcool n-butílico, está apresentado na Tabela 29. Diferenças entre cultivares foram verificadas apenas para colheita no mês de abril, com a variedade BRS 506 apresentando maior média. Maiores valores médios foram verificados nas colheitas no mês de abril, seguido por fevereiro e março.

Tabela 29 – Desdobramento da interação variedades x épocas de colheita para álcool n-butílico, avaliadas na safra 2011/2012.

Variedades	Fevereiro		Março		Abril	
BR 505	0.67 ±0,04	B a	0.18 ±0,01	C a	1.42 ±0,24	A b
BRS 506	0.57 ±0,13	B a	0.21 ±0,01	C a	1.72 ±0,15	A a

\* Médias seguidas da mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, são iguais entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Para carbamato de etila, observou-se valores de 0,0012, 0,0389 e 0,0404 em mgL<sup>-1</sup>, para colheitas em fevereiro, março e abril, respectivamente. Verifica-se menor valor em fevereiro e março e abril não diferindo entre si. De qualquer forma, todos os valores obtidos são muito baixos e atendem os padrões de qualidade da legislação vigente no Brasil (BRASIL, 2005). Em relação ao parâmetro cobre, a maioria das amostras analisadas apresentaram-se acima do limite máximo permitido. Das amostras analisadas Somente 6 apresentaram teores de cobre dentro do limite legal apresentando uma média geral de 5,15 mg/L, conforme mostra a figura 20.

Nas aguardentes produzidas na safra de 2011/2012 em todas as amostras analisadas não foram detectados teores de metanol, aldeídos como acroleína, furfural, 5-metilfurfural, benzaldeído, isovaleraldeído, formaldeído, propionaldeído e o grupo cetonas como o 2,3 butadiona e a acetona.

## 7. CONCLUSÕES

As variedades de sorgo sacarino avaliadas apresentaram diferenças significativas em termos de produtividade e qualidade. A variedade BRS 506 apresentou maiores produtividades de colmos em todas as safras avaliadas. A variedade BR 505 apresentou melhor qualidade de caldo, associando maiores valores de Brix, ART e menor valor de AR, mas com pequena variação em relação a variedade BRS 506. Considerando os caracteres de rendimento e qualidade da matéria para produção de aguardente, constatou-se superioridade da variedade BRS 506.

Os períodos de maturação avaliados, 115, 123 e 131 dias após o plantio - DAP apresentaram diferenças significativas e as colheitas realizadas aos 115 e 123 DAP, apresentaram maior extração de caldo e maiores teores de açúcares, os quais refletem em maior rendimento e qualidade da aguardente.

As épocas de colheita avaliadas, fevereiro, março e abril, mostraram diferenças significativas em produtividade e qualidade. As colheitas realizadas nos meses de março e abril apresentaram maiores produtividades de colmo, maior extração de caldo, maiores teores de açúcares no caldo extraído. Portanto, visando o fornecimento de matéria prima para produção de aguardente, as semeaduras nos meses de novembro e dezembro com colheitas nos meses de março e abril, respectivamente, apresentaram maior rendimento e melhor qualidade.

A maioria das análises das aguardentes apresentou-se dentro dos limites especificados pela legislação. Algumas amostras apresentaram os compostos alcoóis superiores e cobre em quantidades acima do permitido pela legislação brasileira. Mas estes caracteres são influenciados pelas condições do processamento. Para o parâmetro carbamato de etila, todas as amostras atenderam ao padrão legal exigido apresentando valores bem abaixo do permitido. Não foram detectados teores de metanol, cetonas e aldeídos como acroleína e furfural.

Os resultados obtidos no presente trabalho mostram que as variedades de sorgo sacarino avaliadas produziram matéria prima com alto rendimento e qualidade para produção de aguardente. Neste sentido, o sorgo sacarino é uma opção bastante interessante visando ampliar/complementar a produção de aguardente na região de Salinas, Norte de Minas Gerais, principalmente durante o período da entressafra da cana-de-açúcar.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRABE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BEBIDAS. 2011. Disponível em: <<http://www.abrabe.org.br/>> Acesso em: 23 de maio de 2011.

ABRABE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BEBIDAS. A cachaça, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.abrabe.org.br/cachaca>>. Acesso em março. 2012

AQUARONE, E.; BORZANI, W.; LIMA, U.A. **Alimentos e bebidas produzidos por fermentação**. São Paulo: Edgard Blucher, 1983. v.5, 243 p.

AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U.A. **Biotecnología Industrial: Biotecnologia na produção de alimentos**. Vol. 4. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2001.

ALBUQUERQUE, C.J.B.; VON PINHO, R.G.V.; RODRIGUES, J.A.S.; BRANT, R.S.; Espaçamento entre fileiras e Densidade de semeadura do Sorgo forrageiro para a região norte de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 3, p. 494-501, 2011.

ALCARDE, A.R. **Bebidas retificadas: vodka e gin**. In: *Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia*. São Paulo: Editora Blucher, vol. 1, 2010.

ALCARDE, A.R.; SOUZA, P.A.; BELLUCO, A.E.S. Cinética de volatilização de componentes secundários da aguardente de cana-de-açúcar durante dupla destilação em alambique retificador. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 3. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010390162010000300005&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010390162010000300005&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 19 jul. 2010.

ALMODARES, A.; HADI, M.R. (2009) Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 4 (9):772-780.

ALVARENGA, L.M. **Efeito do tratamento enzimático da polpa na produção de aguardente de manga**. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.79 p.

ALVES, J.G.L.F.; TAVARES, L.S.; ANDRADE, C.J.; PEREIRA, G.G.; DUARTE, F.C. CARNEIRO, J.D.S. Desenvolvimento, avaliação qualitativa, rendimento e custo de produção de aguardente de goiaba. **Braz. J. Food Technol.**,P. 64-68. 2008.

AMPAQ. Associação Mineira dos Produtores de Cachaça de Qualidade. Disponível em: <<http://www.ampaq.com.br>>. Acesso em: 11 jun. 2007.

AMPAQ - Associação Mineira dos Produtores de Cachaça de Qualidade. Disponível em [http://www.ampaq.com.br/arquivos/etapas\\_para\\_producao.pdf](http://www.ampaq.com.br/arquivos/etapas_para_producao.pdf). Acesso em: 06 de fev. 2010.  
ANDRADE, A.R.P. **Tratamento do caldo**. Manual técnico da usina de açúcar Santa Terezinha. Santana do Paraíba, São Paulo, 1998.

ANDRADE-SOBRINHO, L.G. de; BOSCOLO, M.; LIMA-NETO, B. dos S.; FRANCO, D.W. Carbamato de Etila em Bebidas Alcoólicas (cachaça, tiquira, uísque e grapa). **Química Nova**, São Paulo, v.25, n.6b, p.1074-1077, nov./dez. 2002.

ANTUNES, F.Z. Caracterização Climática. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 17, n. 181, p. 15 – 19 1994

AZEVEDO, S.M.; CARDOSO, M. das G.; PEREIRA, N.E.; RIBEIRO, C.F.S.; SILVA, V.F.; AGUIAR, F.C. Levantamento da contaminação por cobre nas aguardentes de cana-de-açúcar produzidas em Minas Gerais. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v.27, n.3, p.618-624, 2003.

ARESTA, M.; BOSCOLO, M.; FRANCO, D.W. Catalysis in Cyanide Conversion into Ethyl Carbamate in Spirits and Relevant Reactions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n.6, p. 2819-2824, 2001.

BAFFA JÚNIOR, J.C.; SOARES, N.F.F.; PEREIRA, J.M.A.T.K.; MELO, N.R. Ocorrência de carbamato de etila em cachaças comerciais da região da zona da mata mineira – MG. **Alim. Nut.**, v.18, n.4, p. 371-373, out./dez. 2007.

BARDI, E.; KOUTINAS, A.A.; PSARIANOS, C.; KANELLAKI, M. Volatile by-products formed in low-temperature wine-making using immobilized yeast cells. **Process Biochemistry**, v.32, n.7, p.579-584, 1997.

BELITZ, H.D.; GROSCH, W.; SCHIEBERLE, P. Food Chemistry. 4a ed. Ed: Springer-Verlag. 2009.

BEMILLER, J.M.; HUBER, K.C. Carboidratos. **In:** Química de Alimentos de Fennema. 4 ed. Artmed, 2010.

BERRY, D.R. Alcoholic beverage fermentations. **In:** LEA, A.G.H.; PIGGOTT, J.R. Fermented beverage production. Blackie: London, p. 32-61, 1995.

BOLONHEZI, D.; RODA JUNIOR, G.B.; CAMILO, E.H.; GENTILIN JUNIOR, O.; GARCIA, J.C. **Análise de crescimento e curva de maturação de dois cultivares de sorgo sacarino.** VI Workshop de Agroenergia, Ribeirão-Preto-SP, 2012.

BORGES, I.D. **Marcha de Absorção de Nutrientes e Acúmulo de Matéria Seca em Milho.** 2006, 168p, Tese (Fitotecnia) - UFLA, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

BOSQUEIRO, A. C. **Composição química da aguardente de cana-de-açúcar ao longo do processo de dupla destilação em alambique simples.** 2010. 83f. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2005.

BOZA, Y.; HORII, J. Influencia da destilação sobre a composição e a qualidade sensorial da aguardente de cana-de-açúcar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.18, n.4, 1998.

BOZA, Y.; HORII, J. A destilação na obtenção de aguardente de cana-de-açúcar. **Boletim SBCTA**, Campinas, SP, v.1, n.33, p.98-105, 1999.

BOZA, Y.; HORII, J. Influência do grau alcoólico e da acidez do destilado sobre o teor de cobre na aguardente. *Ciênc. Technol. Aliment.*, v. 20, n. 3. p. 279-284, 2000.

BRAGA, V.S. **A influência da temperatura na condução de dois processos fermentativos para produção de cachaça.** 2006. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

BRASIL. **Decreto nº 2.314** do Ministério da Agricultura de 04 de setembro de 1997. Dispõe sobre o registro, classificação, padronização, produção e fiscalização das bebidas. Diário Oficial da União, Brasília, 05 de setembro de 1997.

BRASIL. Instrução normativa no 13, de 29 de junho de 2005. **Aprova o regulamento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para aguardente de cana e para cachaça.** Diário Oficial da União, Brasília, jun. 2005.

BRASIL. DOU –Diário Oficial da União 2010 Instrução Normativa MAPA nº 21 de 19/07/2010. Brasília: DOU Nº 137, p.8.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº IN nº 15 de 31 de Março de 2011. **D.O.U** de, 01 de Abril de 2011. Seção I, n 63, p 4.

**Cachaça.** Disponível em: <http://www.desvendarcom/especiais/cachaça>. Acesso em: 25/02/2007.

CÂMARA, J.S.; MARQUES, J.C; PERESTRELO, R.M; RODRIGUES, F.; OLIVEIRA, L.; ANDRADE, P.; CALDEIRA M. Comparative study of the whisky aroma profile based on headspace solid phase microextraction using different fibre coatings. **Journal of Chromatography A**, v.1150, p. 198-207, 2007.

CANTAO, F.O. **Análises físico químicas e avaliação da presença de cobre em aguardentes de cana por aluminossilicatos** 2006. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Lavras.

CARDELLO, H.M.A.B.; FARIA J.B. Análise descritiva quantitativa da aguardente de cana durante envelhecimento em tonel de carvalho (*Quercus Alba* L.). **Ciênc. Tecnol. Alim.**, Campinas, v. 18, p. 169-175, 1998.

CARDELLO, H.M.A.B.; FARIA, J.B. Análise da aceitação de aguardentes da cana por testes afetivos e mapa de preferência interno. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, p. 32-36, 2000.

CARDOSO, M. das G. **Produção de aguardente de cana-de-açúcar.** Lavras: Ed. da UFLA, 2001. 264p.

CARDOSO, M. das G. Análises físico-químicas de aguardente. **In:** CARDOSO, M. das G. (Ed.). Produção de aguardente de cana. Lavras: UFLA, 2001. 264p.

CARDOSO, D.R.; LIMA-NETO, B.S.; FRANCO, D.W. Influência do material do destilador na composição química das aguardentes de cana. Parte II. **Química Nova**, v. 26, n.2, p.165-169, 2003.

CARNEIRO, I.; QUEIROZ, V.S. Curso de extensão em tecnologia de aguardente de cana-de-açúcar. João Pessoa. UFPB/DTQA. 29f. 1994.

CARUSO, M.S.F.; NAGATO, L.A.F.; ALABURDA, J. Benzopireno, carbamato de etila e metanol em cachaças. **Química Nova**. v.33, n.9, p. 1973-1976, 2010.

CASSINI, C. E. B. **Produção de aguardente de cana de açúcar por células imobilizadas**. 2004. 143f. Tese (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004. Disponível em: <[http://www.fea.unicamp.br/alimentarium/ver\\_documento.php?did=441](http://www.fea.unicamp.br/alimentarium/ver_documento.php?did=441)>. Acesso em: 22 mar. 2011.

CERES. **Sementes de sorgo**. 2010. Disponível em: <<http://www.ceres.net/ceressementes/Produtos/Produtos-Sorgo-Sacarino.html>> Acesso em: 20 nov. 2011.

CETA – Centre for theoretical and applied ecology (2011) *Sweetanol Early Manual*. Poligrafiche San Marco S.a.s. Cormons (Gorizia), Italy.

CHERUBIN, R.A. **Efeitos da adição de benzoato de sódio na fermentação alcoólica para produção de aguardente de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 70p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

CLETO, F.V.G., MUTTON, M.J.R. Rendimento e Composição das aguardentes de cana, laranja e uva com utilização de lecitina no processo fermentativo. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 577-584, maio/jun., 2004.

COLE, V.; NOBLE, A.C. Flavor chemistry and assessment. **In:** LEA, A.G.H.; PIGGOTT, J.R. (Ed.). *Fermented beverage production*: London: Blackie Academic Professional, 1995. chap. 14, p. 361-385

CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento. **Cana-de-açúcar, levantamento de produção, SAFRA 2013/2014**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 19 de setembro de 2013.



DAMASCENO, C. ; PARRELA, R.A.C. Seleção genômica como estratégia do melhoramento de sorgo sacarino para altas performances. **Agroenergia em Revista** ed nº 3. p 12-13, Agosto, 2011.

DYER, R.H.D. Determination of ethyl carbamate (urethane) in alcoholic beverages using capillary gas chromatography with thermal energy analyzer detector. *J. AOAC Int.*, v.77, p.64-67. 1994.

EFSA – European Food Safety Authority. Ethyl carbamate and hydrocyanic acid in food and beverages. **EFSA Journal**. v.551, p.1-44, 2007.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Milho e Sorgo. Boletim Agrometeorológico do Ano Agrícola. Sete Lagoas, 2004.

EMBRAPA MILHO E SORGO. (2008). Sistemas de Produção, 2. **Cultivo do sorgo – Plantio**. ISSN 1679-012X. Versão Eletrônica - 4º edição. Set. 2008. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo/plantio.htm>>. Acesso em: 11 jun. 2009.

EMBRAPA – EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA – Cultivo do sorgo. Disponível em: <[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo\\_7\\_ed/index.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_7_ed/index.htm)>. Acesso em: 30 dezembro 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2012) - Embrapa e Ceres Sementes fecham parceria para lançamento de cultivar de sorgo sacarino. *Jornal Eletrônico da Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas-MG) Ano 06 - Edição 39*. Acesso em: 02 fev. 2013. Online. Disponível em: <http://gao.cnpms.embrapa.br/noticia.php?ed=OQ==&id=MzQ=>

EMBRAPA – EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA – Cultura do sorgo. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/sacarino/tabela.pdf> Acesso em: Agosto de 2013.

EMYDIO, B.M. **Produção de etanol a partir de sorgo sacarino**. 2010. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2010\\_4/sorgo/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2010_4/sorgo/index.htm)>. Acesso em: 23 mar. 2012.

ESTADO DE MINAS, página 12 do Caderno Agropecuário do Jornal Estado de Minas, 13 de agosto de 2008.

ESTALISLAU, M.L.L.; CANÇADO JUNIOR, F.L.; PAIVA, B.M Mercado atual e potencial da cachaça. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.23, n.217, p.19-24, 2002.

ETIÉVANT, P.X. Wine. In: MAARSE, H. (Ed). **Volatile Compounds in Foods and Beverages**. New York: Marcel Dekker, 1991. Cap. 14, p. 483-546.

FARIA, J.B. **Determinação dos compostos responsáveis pelo defeito sensorial das aguardentes de cana (*Saccharum ssp*) destiladas na ausência de cobre**. 2000. 99p. Tese de (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara, 2000.

FARIA, J.B.; CARDELLO, H.M.A.B.; BOSCOLO, M.; ISIQUE, W.D.; ODELLO, L.; FRANCO, D.W. Evaluation of Brazilian woods as an alternative to oak for cachaças aging. **European food research and technology**, n. 218, p. 83-87, 2003.

FARIA, J.B. O defeito sensorial das aguardentes de cana destiladas na ausência de cobre. In: FRANCO, M.R.B. (Ed.). **Aroma e sabor de alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 2003.

FAS - Foreign Agricultural Service. International Agricultural Trade Report. 20 jul. 2011. **United State Department of Agriculture**. Disponível em: <[http://www.fas.usda.gov/info/iatr/072011\\_Ethanol\\_IATR.pdf](http://www.fas.usda.gov/info/iatr/072011_Ethanol_IATR.pdf)>. Acesso em: 07 fev. 2012.

FAS - Foreign Agricultural Service. United State Department of Agriculture. Jan. 2011b. **World Agricultural Production**. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/wap/circular/2011/11-01/productionfull01-11.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2012.

FERREIRA, D.F. SISVAR. Versão 4.6, Build 61. Lavras: DEX/UFLA, 2003. Software.

FICAGNA, E. 2005. Influência do tempo de maceração na composição química do fermentado e do destilado de pêssego (*Prunus pérsica L Batsch, cv chiripa*). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina.

FRANCO, B.D.G. de M.; LANDGRAF, M.; DESTRO, M.T. Microbiologia de Alimentos. São Paulo: Editora Atheneu, 1996. 174f.

GARCIA-LLOBODANIN, L. Potential of Blanquilla pear variety to produce pear spirits: Influence of the fermentation and distillation conditions in the final quality. Tese de Doutorado. Universitat Rovira i Virgili Spain, 2008. 187 p.

GUIMARÃES FILHO, O. **Avaliação da produção artesanal da aguardente de banana utilizando *Saccharomyces cerevisiae* CA-1174**. Lavras. Universidade Federal de Lavras, 2003. 82 p. (Tese de Doutorado UFLA).

GUIMARÃES, F. B. **Resistência dilatária à antracnose (*Colletotrichum graminicola* (Ces.) Wilson) do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)**. 1996. 51 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 1996.

HAQUE, M.R.; BRADBURY, J.H. Total cyanide determination of plants and foods using the picrate and acid hydrolysis methods. **Food Chemistry**, v.77, p. 107–114, 2002.

HAMERSKI, F. **Estudo de variáveis no processo de carbonatação do caldo de cana-de-açúcar**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

HART, H.; SCHUETZ, R.D. **Química Orgânica**. Rio de Janeiro: Campus, 1983. Cap. 11, p. 218-244

HEATH, H.B.; REINECCIUS, G. (1986). Flavor chemistry and technology. Westport, CT, NY: AVI Pub. Co.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Observações meteorológicas. Brasília, 2012. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/observacoes.php?InK=gGráficos>>. Acesso em 05 maio 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Observações meteorológicas. Brasília, 2012. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/observacoes.php?InK=gGráficos>>. Acesso em 23 junho 2012

ISIQUE, W.D.; Lima-Neto, B.S.; Franco, D.W. Qualidade da cachaça, uma Opinião Para Discussão. Engarrafador Moderno, Brasil, v.98, p.92-97, 2002

JANZANTTI, N.S. **Compostos voláteis e qualidade de sabor da cachaça**. 2004. 179p. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2004.

JERONIMO, E.M. **O nitrogênio protéico na fermentação alcoólica e sua influência na qualidade da cachaça**. 121p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, 2004.

LABANCA, R.A. **Carbamato de etila, cobre e grau alcoólico em aguardentes produzidas em Minas Gerais**. Belo Horizonte: Faculdade de Farmácia da UFMG. 2004. 64 p. (Dissertação, Mestrado em Ciência de Alimentos).

LANCHENMEIER, D.W; LIMA, M.C.P.; NOBREGA, I.C.C; PEREIRA, J.A.P; KERR-CORRÊA, F.; KANTERES, F.; REHM, J. 2010. Cancer risk assessment of ethyl carbamate in alcoholic beverages from Brazil with special consideration to the spirits cachaça and tiquira. BMC Cancer, v: 10, 1-15.

LAWRENCE, J.F.; PAGE, B.D.; CONACHER, H.B.S. Temperature and light effects on ethyl carbamate formation in wine during storage. Adv. Environ. Sci. Technol., v.23, p. 457 , 1990.

LÉAUTÉ, R. Distillation in Alambic. **American Journal of Enology and Viticulture**. v. 41, n. 1, p. 90-103, 1990.

LIEBICH, H.M., & KOENING, W.A. (1970). Analysis of the flavor of rum by gas–liquid-chromatography and mass spectrometry. **Journal of Chromatographic Science**, 8, 527–533.

LIMA NETO, B.S.; BEZERRA, C.W.B.; POLASTRO, L.R.; CAMPOS, P.; NASCIMENTO, R.F.; FURUYA, S.M.B.; FRANCO, D.W.; **Quim. Nova**, 1994. 17, 220.

LIMA, U. de A. **Estudos dos principais fatores que afetam os componentes do coeficiente não álcool das aguardentes de cana**. 1964. 141p. Tese (Cátedra)Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

LIMA, U. de A. (Ed.) Biotecnologia Industrial - **Biotecnologia na produção de alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. cap.5 v. 4 p.145-182.

LIMA, U. de A.; BASSO, L.C.; AMORIM, H. de V. Produção de Etanol. In: LIMA, U. de A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. **Biotecnologia Industrial: Processos Fermentativos e Enzimáticos**. 1ª edição. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA., v. 3, capítulo 1, p. 1 – 43, 2001.

LIMA, A.J.B.; CARDOSO, M.G.; GUEREIRO, M.C.; PIMENTEL, F.A. Emprego do carvão ativado para remoção de cobre em cachaça. **Química Nova**, v. 29, n.2, p.247-250, 2006.

LIMA, A. J. B.; CARDOSO, M. G.; GUIMARÃES, L. G. D. L.; LIMA, J. M.; NELSNOS, D. L. “Efeito de Substâncias Empregadas para Remoção de Cobre sobre o Teor de Compostos Secundários da Cachaça”, *Química Nova*, vol. 32, n. 4, p. 845-848, 02 2009.

LOPES, C.H. **Glossário de termos técnicos para a indústria sucro-alcooleira**. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool; PLANALSUCAR, 1986. 32 p.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; SCHAFFERT, R.E. **Fisiologia da planta de sorgo**. Sete Lagoas, MG: EMBRAPA/CNPMS, 2000. 46 p. (circular técnica [do] centro nacional de pesquisa de milho e sorgo; n.3).

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Ecofisiologia da produção de sorgo**. Sete Lagoas, MG: EMBRAPA, CNPMS, 2003.

MAIA, A.B.R.A.; PEREIRA, A.J.G.; LIMA, L.A. Fermentação alcoólica semicontínua destinada à produção de aguardentes. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, p.33-36, 1991.

MAIA, A.B. Componentes secundários da aguardente. **Revista STAB**. v. 12, n. 6, p. 29- 34, 1994.

MAIA, A.B.; RIBEIRO, J.C.G.; SILVEIRA, L.C.I. **1º Curso AMPAQ de produção artesanal de aguardente de qualidade**. Belo Horizonte: AMPAQ, 1995 106 p.

MAIA, A.B. Equipamentos para a produção de cachaça. **Informe agropecuário**, v. 23, n. 217, p. 63-66, 2002.

MAIA, A.B.R.A.; CAMPELO, E.A.P. **Tecnologia da cachaça de alambique**. Belo Horizonte: SEBRAE/MG; SINDBEBIDAS, 2005. 129 p.

MAIA, A.; BIAGIONI R.A.; CAMPELO, E.A.P. **Tecnologia da Cachaça de Alambique**. 128p. Belo Horizonte – MG SEBRAE/MG; SINDBEBIDAS, 2006.

MAY, A. Boas práticas agrícolas para o cultivo de sorgo sacarino. **Agroenergia em Revista** ed nº 3. p. 15-17, Agosto, 2011.

MIRANDA, M.B. **Avaliação físico-química de cachaças comerciais e estudo da influência da irradiação sobre a qualidade da bebida em tonéis de carvalho**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências)-Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba.

MIRANDA, M.B.; MARTINS, N.G.S.; BELLUCO, A.E.S.; HORII, J.; ALCARDE, A. R. **Qualidade química de cachaças e aguardentes brasileiras**. Lavras: UFLA/ Ciência e tecnologia de alimentos, 2007. 897p. (Tese de Mestrado Ciência de Alimentos).

MALTA, H.L. *Estudo de parâmetros de propagação de cachaça de alambique*. Tese [Mestrado em Ciências de Alimento]. Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. Minas Gerais. 2006.

MONTENEGRO, M. *Uma breve história da cachaça brasileira. Da colônia aos dias atuais*. São Paulo. 2009. 72p

MOREIRA, R.F.A.; TRUGO, L.C.; DE MARIA, C.A.B. Componentes voláteis do café torrado. Parte II: compostos alifáticos, alicíclicos e aromáticos. *Quim Nova*. 2000; 23(2):195-203.

MURTAGH, J.E. Production of neutral spirits and preparation of gin and vodka. In: **The alcohol textbook: a reference for the beverages, fuel and industrial alcohol industries**. 3<sup>a</sup> ed. Nottingham University Press. 1999.

MUTTON, M.J.R., MUTTON, M.A. **Cachaça: orientações técnicas para produção**. 150 p, Treinamento empresarial. SEBRAE /Piauí, 2005.

MUTTON, M.J.R.; MUTTON, M.A.; Aguardente. In: VENTURINI FILHO, W. G. **Tecnologia de bebidas: matéria-prima, processamento, BPF/ APPCC, Legislação e Mercado**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. cap. 20 v. 1 p.485-524.

NASCIMENTO, R.F. **Aldeídos, ácidos e compostos sulfurados em aguardente de cana-de-açúcar (*Saccharum ssp*)**. 1997. Tese (Doutorado em Química) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

NASCIMENTO, R.F.; CERRONI, J.L.; CARDOSO, D.R.; LIMA NETO, B.S.; FRANCO, D.W. **Comparação dos Métodos Oficiais de Análise e Métodos Cromatográficos para a Determinação dos Teores de Aldeídos e Ácidos Carboxílicos**. Ciênc. Tecnol. Aliment., v. **18**, p. **350**, 1998.

NASCIMENTO, E.S.P. **Ésteres em aguardente de cana: seu perfil**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. 2007.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D.C.; BRONDANI, I.L.; MENEZES, L.F.G. Resposta econômica da determinação de novilhos em confinamento, alimentados com silagem de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench.) **Ciência Rural**, v. 32, n.5, p. 123-133, 2002

NOBREGA, I.C.C. (1994) **Características de qualidade de aguardentes de cana comerciais e comparação entre dois processos de fermentação**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Viçosa – MG, 67p.

NOGUEIRA, A.M.P.; VENTURINI FILHO, W.G. **Aguardente de cana**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2005. 1v.

NOGUEIRA, A.M.P.; FILHO VENTURINI, W.G. Clarificação de caldo de cana por micro e ultrafiltração: comprovação de viabilidade técnica em experimentos preliminares. **Brazilian Journal of Food Technology**. Campinas, v. 10, n.1, p. 57-62. 2007.

NOVAES, F.V. **Noções básicas sobre a teoria da destilação**. Piracicaba: ESALQ/Depto de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, 1994. 22p.

NYKANEM, L. Formation and occurrence of flavor compounds in wine and distilled alcoholic beverages. *American Journal of Enology and Viticulture*. v.37, n.1, p. 84-96, 1986.

NYKÄNEN, L.; NYKÄNEN, I. Distilled beverages. Volatile compounds in food and beverages (Maarse, H, ed.). New York: **Mercel Dekker**, 1991.

OLIVEIRA, F.M. Consumo Humano do Sorgo na Propriedade Agrícola. *Sorgo, Uma Opção Agrícola* **Informe Agropecuário**, n. 144, p. 11-13, 1986.

PACHECO, T. **Índices tecnológicos industriais para produção de etanol de sorgo sacarino**. Seminário temático agroindustrial de produção de sorgo sacarino para bioetanol, Ribeirão Preto-SP, 2012.

PARAZZI, C.; ARTHUR, C.M.; LOPES, J.J.C.; BORGES, M.T.M.R. (2008). Avaliação e caracterização dos principais compostos químicos da aguardente de cana-de-açúcar envelhecida em tonéis de carvalho (*Quercus sp.*). **Food Science and Technology** (Campinas), 28(1), 193-199.

PARRELA, R.A. C. *et al.* Desempenho de Cultivares de Sorgo Sacarino em Diferentes Ambientes Visando a Produção de etanol. **In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**, 28., 2010. Goiânia, set. 2010. CD-ROM.

PATARO, C.; GOMES, F.C.O.; ARAÚJO, R.A.C.; ROSA, C.A.; SCHWAN, R.F.; CAMPOS, C.R.; CLARET, A.S.; CASTRO, H.A. Utilização de leveduras selecionadas na fabricação da cachaça de alambique. **Informe Agropecuário**, EPAMIG, Belo Horizonte, v. 23, n 217, p. 37-43, 2002.

PEREIRA, C.B. **Acidez do caldo na caracterização de cultivares de cana-de-açúcar**, 2007, 53p – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

PEREIRA, N.E. *et al.* Compostos secundários em cachaças produzidas no Estado e Minas Gerais. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 27, p. 1068-1075, 2003.

PIGGOTT, J. R., SHARP, R.; DUNCAN, R.E.B. (1989). The science and technology of whiskies. New York: Wiley.



PINHEIRO, P.C.; LEAL, M.C.; ARAÚJO, D.A. Origem, produção e composição química da cachaça. *Química Nova na escola*, São Paulo, n.18, p.3 -8, Dez. 2003.

PUPUTTI, E.; LETHONEN, P. (1986). High-performance liquid chromatographic separation and diode-array spectroscopic identification of dinitrophenylhydrazone derivatives of carbonyl compounds from whiskies. *Journal of Chromatography A*, 353, 164.

RECHE, R.V.; FRANCO, D.W. Distinção entre cachaças destiladas em alambiques e em colunas usando quimiometria. *Química Nova*. v.32, n.2, p. 332-336, 2009.

RIBAS, M. N. **Avaliação agrônômica e nutricional de híbridos de sorgo com capim sudão, normais e mutantes bmr - portadores de nervura marrom**. 2010. 140 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2010.

RIBEIRO, C.A.F.; HORII, J. Efeitos de linhagens de levedura *Saccharomyces cerevisiae* na tecnologia de aguardente de cana. **In**. Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 16. Rio de Janeiro, 1998: SBCTA, 1998.

RIBEIRO, C.A.F. ;HORII, J. Pontencialidades de linhagens de levedura *saccharomyces cerevisiae* para a fermentação do caldo de cana. *Sciencia Agrícola*, Piracicaba, v.56, n.2, p.255-263, 1999. ISSN 0103-9016.

RIBEIRO, J.C.G.M. **Fabricação Artesanal da Cachaça Mineira**. Belo Horizonte: O Lutador, 2002. 221p.

RIBEIRO FILHO, N.M.; ALVES, R.M.; FLORÊNCIO, I.M.; FLORENTINO, E.R.; DANTAS, J.P. Viabilidade de utilização do caldo do sorgo sacarino para a Produção de álcool carburante (etanol). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, 2008.

SALVIANO, A.T.M.; AMARAL, C.R.S.; LUCENA, J. E.; MOREIRA, R.T.; NOBREGA, I.C. Elaboração e Aceitação Sensorial de Uma Aguardente Bi-destilada de Jaca (*Artocarpus Heterophilus* Lam). Anais daII JORNADA NACIONAL DA AGROINDÚSTRIA Bananeiras, 2007. CFT/UFPB.

SANTOS. I.T. dos. **Indicação de procedência cachaça de salinas: Delimitação territorial**. Salinas, 2009. 21p.

SANTOS, R.C.; RIBEIRO FILHO, N.M.; SOUZA, W.J.B.; ALMEIDA, K.V.; FLORENTINO, E.R. **Estudo de fermentação alcoólica do caldo de sorgo sacarino**. 1º Congresso Químico do Brasil, João Pessoa-PB, 2010.

SARGENTELLI, V.; MAURO, A.E.; MASSABNI, A.C.; **Quim. Nova**, 1996, 19, 290.

SAUVAGEOT, N.; GOUFFI, K.; LAPLACE, J.M.; AUFFRAY, Y. Glycerol metabolism in *Lactobacillus collinoides*: production of 3- hydroxypropionaldehyde, a precursor of acrolein. *International Journal Food Microbiology*, v. 55, n. 1, p. 167-170, Apr. 2000.

SCHWAN, R.F.; CASTRO, H.A. Fermentação alcoólica. In: CARDOSO, M.G. (Ed.). *Produção de aguardente de cana-de-açúcar*. Lavras: UFLA, 2001. p.45-57.

SEBRAE –MG- Diagnóstico da cachaça de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2001. 241 p. Disponível em: <<http://www.sebraemg.com.br>> acesso em: 04 de agosto de 2012

SIEBALD, H.G.L. *et al.* Alguns aspectos toxicológicos da cachaça. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.23, n.217, p.59-62, 2002.

SILVA, P.H.A. e NOBREGA, I. Physical-Chemical Characterization of Commercial Brands of Brazilian Sugar Cane Spirit. **Technical Quarterly** v.38 n.3 p 163-166. 2001.

SILVA, C.G. **Desenvolvimento de um sistema micro-industrial para obtenção de aguardente bidestilada de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) DC)**. 2002. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

SILVA, P.H.A.; FARIA, F.C.; TONON, B.; MOTA, S.J.D.; PINTO, V.T. AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE FERMENTADOS ALCOÓLICOS DE JABUTICABA (*Myrciaria jabuticaba*). **Quim. Nova**, Vol. 31, No. 3, 595-600, 2008.

SILVA, P.H.A.; SANTOS, J.O.; ARAÚJO, L.D.; FARIA, F.C.; PEREIRA, A.F.; OLIVEIRA, V.A.; VICENTE, M.A.; BRANDÃO, R.L. Avaliação cromatográfica de compostos voláteis de cachaças produzidas com leveduras de diferentes procedências. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.29, n.1, p. 100-106, 2009.

SILVA, M.B.L., CHAVES. B.P., LELIS, V.G., ALVARENGA, L.M., ZUIM, D.R., SILVA, P.H.A. (2009). Qualidade Físico Químico e Sensorial de aguardentes de polpa de banana e banana integral submetidas a hidrólise enzimática. **Alim. Nutr.**, 20(2): 217-221.

SILVA, M. de A.; CATO, S.C.; COSTA, A.G.F.; SILVA *et al.* Produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar submetida à aplicação de biorregulador e fertilizantes líquidos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.4, p.774-780, abr, 2010.

SILVEIRA, D. da *et al.* **Anuário Brasileiro da cana-de-açúcar 2010**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2008. 128 p.

SIMÃO, L.O.; MAIA, A.B.; ALVES, J.G. Avaliação do Tratamento Enzimático com Pectinase na Produção de Aguardente de Manga. **In: SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOPROCESSOS**, 2005. Resumos... Belo Horizonte, 2005.

SOUSA, L. G.; LLISTÓ, A.M.S.M. Alguns componentes do coeficiente não álcool da aguardente de cana: determinação por cromatografia de fase gasosa. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, n. 3, p. 109, 1978.

SOUZA, C.C.; DANTAS, J.P.; SILVA, S. de M.; SOUZA, V.C. de; ALMEIDA, F.A. de; SILVA, L.E. da. . Produtividade do sorgo granífero cv. sacarino e qualidade de produtos formulados isoladamente ou combinados ao caldo de cana-de-açúcar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v..25, n. 3, p. 512-517, jul./set. 2005.

SOUZA, P. A. **Produção de aguardentes de cana-de-açúcar por dupla destilação em alambique retificador**. 2009. 99f. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2009.

SOUZA, P.P.; CARDEAL, Z.L.; AUGUSTI R.; MORRISON, P.; MARRIOTT, P.J.; Determination of volatile compounds in Brazilian distilled cachaça by using comprehensive two-dimensional gas chromatography and effects of production pathways. **Journal of chromatography A**. v. 1216, p. 2881 – 2890, 2009.

STELLA, F.M. **Efeito da filtração com resinas iônicas sobre a qualidade da cachaça**. 2010. 140p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

TEIXEIRA, C.G.; JARDINE, J.G.; BEISMAN, D.A. Utilização do sorgo sacarino como matéria-prima complementar á cana-de-açúcar para obtenção de etanol em microdestilaria. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 17, n.3, p. 221-229, 1997.

TSUCHIHASHI, N.; GOTO, Y. Cultivation of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and determination of its harvest time to make use as the raw material for fermentation, practiced during rainy season in dry land of Indonesia. **Plant Production Science**, n, 7, p. 442-448, 2004.

VARGAS, E.A. **Qualidade da aguardente de cana produzida, engarrafada e/ou comercializada em Minas Gerais**. Faculdade de Farmácia da UFMG. 1995. 81 p.  
(Dissertação, Mestrado em Ciências de Alimentos).

VARGAS, E.A.; GLÓRIA, M.B. Qualidade da aguardente de cana (*saccharum officinarum* L.) produzida, comercializada e/ou engarrafada no Estado de Minas Gerais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.15, n.1, p.43-49, jan./jun. 1995.

VASCONCELOS, J.N. de. **Guia de Aulas Práticas: Engenharia Bioquímica e Tecnologia do álcool**. Laboratório de Derivados da Cana-de-Açúcar, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, 2000, 26 p.

VIANA, R.S. *et al.* **Efeito da aplicação de maturadores químicos na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) variedade SP81-3250**. Maringá, v. 30, n. 1, p. 65-71, 2008.

VILELA, F.J.; CARDOSO, M.G.; MASSON, J.; ANJOS, J.P. Determinação das composições físico-químicas de cachaças do sul de Minas Gerais e de suas misturas. **Ciência e Agrotecnologia**. v.31, n.4, p. 1089-1094, 2007.

VON PINHO, R.Z.; DE VASCONCELOS, R.C. **Cultura do Sorgo**. Textos Acadêmicos. Lavras:Editora UFLA. 2002. 75p.

WATSON. D.C. Yeasts in distilled alcoholic-beverage production. In: ROSE, A.H; HARRISON, J.S. 2 nd ed. The yeasts. London: Academic Pres, 1989. vol 5 chap. 6, p.215-244.

YOKOYA, F. **Fabricação da aguardente de cana**. Campinas: Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia “André Tosello”, Série Fermentações Industriais, n.2, 93p. 1995.

ZACARONI, L.M.; CARDOSO, M.G.; SACZK, A.A.; SANTIAGO, W.D.; ANJOS, J.P.; MASSON, J.; DUARTE, F.C.; NELSON, D.L. Caracterização e quantificação de contaminantes em aguardentes de cana. **Química Nova**. v.34, n.2, p. 320-324, 2011.