

ROBERTA MARTINS NOGUEIRA

**ANÁLISE DA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE ÁLCOOL
COMBUSTÍVEL, AGUARDENTE E LEITE, A PARTIR DA CANA-DE-
AÇÚCAR.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS- BRASIL
2008**

ROBERTA MARTINS NOGUEIRA

**ANÁLISE DA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE ÁLCOOL
COMBUSTÍVEL, AGUARDENTE E LEITE, A PARTIR DA CANA-DE-
AÇÚCAR.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 17 de Dezembro de 2008.

Prof José Helvécio Martins
(co-orientador)

Prof Jadir Nogueira da Silva

DSc. Daniela de Carvalho Lopes

DSc. Sérgio Maurício Lopes Donzeles

Prof. Juarez de Sousa e Silva
(Orientador)

Em seu exemplo de caráter, retidão e competência baseia-se a construção da minha personalidade científica. Mais que um orientador, um pai, que aconselha, ensina, consola e disciplina. Hoje, após todos esses anos de convivência, posso dizer que à luz de seus passos direciono minha caminhada, tentando, um dia, aproximar-me de sua grandeza.

*Ao meu orientador, **Juarez de Sousa e Silva***

Dedico

Em seu carinho, companheirismo e caráter encontrei forças para continuar nessa longa caminhada. Quando tudo parecia dar errado encontrei consolo em seu abraço e quando a vida me sorria ali estava você, ao meu lado, compartilhando desses momentos.

*Ao meu noivo, **Evaldo Martins Pires***

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos.

Ao Site www.pos-colheita.com.br pelo aporte financeiro ao projeto, viabilizando sua execução.

Ao professor Juarez de Sousa e Silva, pela dedicação, amizade e ensinamentos.

Aos co-orientadores Prof José Helvecio Martins e Roberto Precci Lopes pelas valiosas contribuições ao trabalho e em especial ao Prof Márcio Arêdes Martins, pelas orientações, confiança e amizade ao longo dessa jornada.

Ao Prof José Antônio Marques Pereira e à Profa Regina Célia Santos Mendonça por permitirem a instalação de parte do experimento em sua propriedade.

Ao Sr. Edivaldo e sua família por permitirem a execução do experimento em sua propriedade e por auxiliar substancialmente em sua realização.

Aos meus pais Regina Célia Martins Nogueira e Roberto de Jesus Nogueira pelo exemplo e apoio.

Ao meu noivo, Evaldo, pelo companheirismo, amor e compreensão.

Aos companheiros Geraldinho e Carlos Pintinho, pela generosa contribuição e apoio.

Aos meus amigos Gilberto e Carla, pelo apoio na realização deste trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste sonho.

BIOGRAFIA

Roberta Martins Nogueira, filha de Roberto de Jesus Nogueira e Regina Célia Martins Nogueira, nasceu em Linhares-ES, no dia 03 de Janeiro de 1984.

Em maio de 2002, iniciou o Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, colando grau em Agosto de 2007.

Em Agosto de 2007, iniciou o Programa de Mestrado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, na área de Energia na Agricultura, sendo bolsista do CNPq, submetendo-se à defesa de dissertação em dezembro de 2008.

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
INTRODUÇÃO GERAL	1
1. INTRODUÇÃO	2
2.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	5
CAPÍTULO 1 - ANÁLISE TÉCNICA DE UMA COLUNA DE DESTILAÇÃO COM MÚLTIPLA FUNÇÃO	6
1. INTRODUÇÃO	7
2.MATERIAIS E MÉTODOS	13
2.1.Local de realização dos testes	13
2.2. Matéria-prima	13
2.3. Coluna de destilação	14
2.4. Aquisição de dados.....	20
2.5. <i>Análise de rendimento da coluna de destilação</i>	24
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
3.1.Análise experimental de desempenho.....	25
3.2.Análise do álcool combustível	30
3.3.Análise teórica de desempenho da coluna de destilação	33
4.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
CAPÍTULO 2 - ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO INTEGRADA DE ÁLCOOL COMBUSTÍVEL, AGUARDENTE E LEITE	38
1.INTRODUÇÃO.....	39

2.MATERIAIS E MÉTODOS	43
2.1.Escolha do local	43
2.2.Matéria-prima	43
2.3.Colheita da cana	45
2.4.Moagem da cana e fermentação do caldo	45
2.5.Destilação – produção de aguardente	48
2.6.Destilação – álcool combustível	50
2.7.Produção de leite	52
2.8.Análise econômica do sistema integrado	55
2.8.1. Valor Presente Líquido (VPL)	55
2.8.2. Taxa Interna de Retorno (TIR)	56
2.8.3. Relação Benefício/Custo (RBC).....	57
2.8.4. Tempo de Retorno do Capital Descontado (TRCd).....	57
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
3.1.Produtividade do canavial	58
3.2.Produção de aguardente	59
3.3.Produção de álcool	60
3.4.Produção de leite	61
3.5.Análise econômica	63
4.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
CONCLUSÕES GERAIS	82

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – MATÉRIAS-PRIMAS PRÉ-DESTILADAS UTILIZADAS PARA ANÁLISE DA COLUNA	14
TABELA 2 – DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE AQUISIÇÃO DE DADOS.....	22
TABELA 3 – ANÁLISE DE DESEMPENHO DA COLUNA OPERANDO COM DIFERENTES MATÉRIAS-PRIMAS.....	25
TABELA 4 – RESULTADO DA ANÁLISE DO ÁLCOOL COMBUSTÍVEL DE ACORDO COM AS NORMAS DA ANP (ANP 2005).....	31
TABELA 5 – VALORES DA FRAÇÃO MOLAR DE ÁLCOOL NAS MISTURAS UTILIZADAS COMO MATÉRIAS-PRIMAS.....	34
TABELA 6 – AETP PARA O MOSTO E O PRÉ-DESTILADO A 36 °GL.....	35
TABELA 7 – ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE DO CANAVIAL.....	58
TABELA 8 – CONSUMO DE CONCENTRADO (RAÇÃO) E PRODUTIVIDADE DO LEITE DOS ANIMAIS CONFINADOS.....	61
TABELA 9– SAÍDAS DO INVESTIMENTO ATÉ O 5° ANO	64
TABELA 10– SAÍDAS DO INVESTIMENTO DO 6° AO 10° ANO	66
TABELA 11– RECEITA COM AS ATIVIDADES INTEGRADAS DO 1° AO 10° ANO.....	69
TABELA 12 – FLUXO DE CAIXA, EM R\$, SIMPLES E DESCONTADO PARA A ATIVIDADE INTEGRADA.....	70
TABELA 13 – FLUXO DE CAIXA PARA A PRODUÇÃO MÍNIMA DE AGUARDENTE	71
TABELA 14 – CRONOGRAMA DE PLANTIO PARA GARANTIR A PRODUÇÃO DIÁRIA DE 600 L.	73
TABELA 15 – SAÍDAS PARA A PRODUÇÃO DE ÁLCOOL E LEITE ATÉ O 5° ANO.	74
TABELA 16 – SAÍDAS PARA A PRODUÇÃO DE ÁLCOOL E LEITE DO 5° AO 10° ANO.....	76
TABELA 17 – ENTRADAS PARA A ATIVIDADE DE PRODUÇÃO DE ÁLCOOL E LEITE.....	78
TABELA 18 – FLUXO DE CAIXA PARA A PRODUÇÃO DE SOMENTE ÁLCOOL COMBUSTÍVEL.	79

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - DINÂMICA DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA DA SACAROSE.....	7
FIGURA 2 – COMPOSIÇÃO DO VAPOR E DO LÍQUIDO DO SISTEMA ÁGUA-ÁLCOOL, A 760 MMHG, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA.	9
FIGURA 3 – (A) DETALHE E DIMENSÕES DA PAINEL E (B) INSTALAÇÃO DA PAINEL NA FORNALHA DE FOGO DIRETO.	15
FIGURA 4 – (A) DETALHE INTERNO E DIMENSÕES DO COLETOR E (B) ESTRUTURA CONSTRUÍDA EM AÇO INOX INSTALADA NA COLUNA.	16
FIGURA 5 – (A) DETALHE INTERNO DA SERPENTINA E (B) TROCADOR DE CALOR EM AÇO INOX INSTALADO NA COLUNA.	17
FIGURA 6 – (A) DETALHES INTERNOS DA SEÇÃO DE RECHEIO E (B) ESTRUTURA INSTALADA NA COLUNA.....	18
FIGURA 7 – (A) DETALHES INTERNOS DO TROCADOR DE CALOR E (B) ESTRUTURA CONJUNTA DO TROCADOR DE CALOR E CAMPÂNULA INSTALADO NA COLUNA.	19
FIGURA 8 – COLUNA DE DESTILAÇÃO INSTALADA SOBRE A FORNALHA DE FOGO DIRETO.	20
FIGURA 9 – PONTOS DE TOMADA DE DADOS DE TEMPERATURA.	21
FIGURA 10 – EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA AQUISIÇÃO DE DADOS DE TEMPERATURA.	22
FIGURA 11 – CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA (kJ. L ⁻¹) PARA AS DIFERENTES MATÉRIAS-PRIMAS.....	26
FIGURA 12 – PERFIL DE TEMPERATURA PARA O MOSTO (12 °GL).....	27
FIGURA 13 – PERFIL DE TEMPERATURA PARA O PRÉ-DESTILADO A 23 °GL.....	28

FIGURA 14 - PERFIL DE TEMPERATURA PARA O PRÉ-DESTILADO A 25 °GL.....	28
FIGURA 15 - PERFIL DE TEMPERATURA PARA O PRÉ-DESTILADO A 29 °GL.....	29
FIGURA 16 - PERFIL DE TEMPERATURA PARA O PRÉ-DESTILADO A 36 °GL.....	29
FIGURA 17 – DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE ESTÁGIOS TEÓRICOS PARA A DESTILAÇÃO DO ETANOL PELO MÉTODO MCCABE-THIELE.....	35
FIGURA 18 – SISTEMA DE DECANTAÇÃO E DILUIÇÃO DO CALDO PARA AJUSTE DO TEOR DE AÇÚCAR.....	46
FIGURA 19 – CALDO DILUÍDO MISTURADO AO PÉ-DE-CUBA JÁ EM PROCESSO DE FERMENTAÇÃO.....	47
FIGURA 20 – SALA DE FERMENTAÇÃO MOSTRANDO AS DORNAS EM AÇO INOX.....	48
FIGURA 21 – ALAMBIQUE DE COBRE UTILIZADO PARA A DESTILAÇÃO DA AGUARDENTE...	49
FIGURA 22 – COLUNA COM MÚLTIPLA FUNÇÃO COM CAPACIDADE ESTÁTICA DE 400 L. ..	51
FIGURA 23 – CONFINAMENTO DAS VACAS LEITEIRAS DURANTE A SAFRA DA CANA-DE- AÇÚCAR.....	52
FIGURA 24 – FORNECIMENTO DE PONTA DE CANA PICADA EM ASSOCIAÇÃO COM URÉIA E SULFATO DE AMÔNIO.....	53
FIGURA 25 – ORDENHA MANUAL REALIZADA DURANTE A MANHÃ COM BEZERRO AO PÉ...	54
FIGURA 26 – ANÁLISE DE CUSTO E LUCRO DA PRODUÇÃO DE LEITE.	62
FIGURA 27 – COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DA ATIVIDADE INTEGRADA.....	68

RESUMO

NOGUEIRA, Roberta Martins, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2008. **Análise da produção sustentável de álcool combustível, aguardente e leite, a partir da cana de açúcar.** Orientador: Juarez de Sousa e Silva. Co-orientadores: José Helvécio Martins, Márcio Arêdes Martins e Roberto Precci Lopes.

Dentre os processos mais utilizados para a separação do álcool e da água está a destilação, que é definido como um processo de separação de dois ou mais líquidos pela diferença entre suas temperaturas de ebulição. Os alambiques e microdestilarias são exemplos de equipamentos intermitentes utilizados na destilação de misturas hidroalcoólicas, quer para a produção de cachaça, quer para a produção de álcool combustível. No caso da produção de álcool a partir da cana de açúcar, há a possibilidade da produção integrada de energia e alimento, com a produção de álcool combustível, aguardente e leite e, ou, carne. Sendo assim, neste trabalho objetivou-se realizar a análise técnica e econômica da produção de álcool combustível, aguardente e leite a partir da cana-de-açúcar. A análise técnica da coluna de destilação foi realizada de forma experimental com a destilação de caldo de cana fermentado (mosto a 12 °GL) e 4 misturas pré-destiladas com teor alcoólico variando entre 23 °GL e 36 °GL. Além disso foram monitoradas as temperatura ao longo da coluna e analisado o consumo específico de energia. A coluna também foi analisada sob o aspecto teórico com o cálculo da AEPT (altura equivalente a um prato teórico), aplicando a metodologia McCabe-Thiele para determinação do número de estágios de separação. O álcool obtido foi enviado para análise no LEC/UFMG (Laboratório de Ensaio de Combustíveis/Universidade Federal de Minas Gerais) e analisado segundo as normas da ANP (Agência Nacional de Petróleo). A coluna analisada obteve maior rendimento operando com o pré-destilado de maior teor alcoólico (36 °GL), produzindo 22,10 L/h de destilado, já com o mosto (12 °GL) foi observado o menor rendimento, totalizando a produção de 11,2 L/h. O consumo específico de

energia também seguiu a mesma tendência, consumindo 3.478 kJ/L para o teste com 36 °GL e 7.814 kJ/L para o teste com mosto. No teste com pré-destilado a 29 °GL o consumo de energia foi de 11.981 kJ/L, o que pode ser explicado pelo fato deste teste ter sido realizado com o uso de bagaço de cana como combustível, reduzindo muito a eficiência da fornalha. A AEPT da coluna para o teste com mosto foi de 0,24 m e para o teste com Pré-destilado a 36 °GL foi de 0,30 m, o que foi considerado satisfatório quando comparado com colunas similares. O álcool analisado não se enquadrou nas especificações da ANP, porém está apto a ser consumido como combustível. A análise econômica foi realizada considerando-se a produção de 220 L de cachaça por dia, 16 L de destilado de cabeça e 60 L de destilado de cauda, 32,5 L de leite e 1.000 L de álcool ao longo da safra, utilizando os destilados de cabeça e cauda como insumo. Considerando-se o preço de venda da cachaça igual a R\$ 6,00/litro, do leite igual a R\$ 0,70/litro e do álcool igual a R\$ 1,65/litro, o VPL (Valor Presente Líquido) do investimento foi de R\$ 159.996,19, a TIR (Taxa Interna de Retorno) de 35%, o TRC (Tempo de Retorno de Capital) de 4 anos e a RBC (Relação Benefício-Custo) de 2,30, confirmando a rentabilidade do sistema. Em um outro cenário, foi analisada qual seria a produção mínima de cachaça e máxima de álcool que garantiria a viabilidade do investimento. Neste cenário, determinou-se que é necessária a produção de no mínimo 7.600 L de aguardente em cada safra para garantir a viabilidade do investimento nas condições estudadas. Considerando-se uma situação ideal de canavial, com produtividade aceitável, com produção de 600 L/dia de álcool, durante 200 dia/ano e 33.600 L/ano de leite, o custo por litro de álcool seria de R\$ 0,66 e o investimento seria economicamente viável comercializando o álcool a, no mínimo, R\$ 0,85/litro. Dessa forma, concluiu-se que: a coluna analisada aumenta sua eficiência com o aumento do teor alcoólico da matéria-prima a ser destilada; a AEPT da coluna está dentro do esperado; o álcool está apto para o consumo como combustível; a produção integrada é economicamente viável; e a produção de álcool, desde que respeitada a escala mínima, também é economicamente viável.

ABSTRACT

NOGUEIRA, Roberta Martins, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, December 2008. **Analysis of the sustainable production of fuel alcohol, sugarcane spirit and milk, from sugarcane.** Advisor: Juarez de Sousa e Silva. Co-Advisors: José Helvecio Martins, Márcio Arêdes Martins and Roberto Precci Lopes.

Among the processes most used to separate alcohol and water is the distillation, which is defined as a separation process of two or more liquid by the difference between their temperatures of boiling. The stills and microdistilleries are examples of intermittent equipments used in the distillation of hydroalcoholic mixtures, for the spirit or fuel alcohol production. In case of the alcohol production from sugarcane, it is possible to integrate the production of energy and food, by the alcohol fuel, spirit and milk or meat. The objective of this work was to carry out the technical and economical analysis of the production of alcohol fuel, spirit and milk from sugarcane. The technical analysis of the distillation column was carried out by the distillation of fermented juice of sugarcane (mash with 12 °GL) and 4 pre-distilled mixtures with alcoholic content varying between 23 °GL and 36 °GL. Also, the temperatures along the column were measured and the specific consumption of energy was analysed. The column was also theoretically analyzed by the calculation of the HETP (Height Equivalent to a Theoretical Plate), by applying the McCabe-Thiele method for determination of the number of separation steps. The alcohol fuel obtained from the column was sent for analysis in the LEC/UFMG (Fuels Analysis Laboratory/Federal University of Minas Gerais) and analyzed according to the standards of the ANP (Petroleum National Agency). The column presented the higher efficiency operating with the pre-distilled with higher alcoholic content (36 °GL), producing 22.1 L/h of distilled. The lower efficiency was observed for the mash (12 °GL), producing 11.2 L/h. The specific consumption of energy also followed the same tendency, consuming 3478 kJ/L for the test with 36 °GL and 7814 kJ/L for the test with mash. In the test with pre-distilled with 29 °GL

the energy consumption was 11981 kJ/L, which was carried out using sugarcane bagace as fuel, reducing the efficiency of the furnace. The HEPT of the column for the test with mash was 0.24 m and for the test with pre-distilled with 36 °GL was 0.30 m, that was considered satisfactory when compared with similar columns. The analyzed alcohol was not fitted in the specifications of the ANP, however it is suitable to be consumed as fuel. The economical analysis was carried out considering the daily production of 220 L of spirit, 16 L of distilled of head and 50 L of distilled of tail, 32.5 L of milk and 1000 L of alcohol during the harvest, using the head and tail distilled as input. By considering a sale price of the spirit equal to R\$ 6.00/liter, R\$ 0.70/liter for the milk and R\$ 1.65/liter for the alcohol, the PLV (Present Liquid Value) of the investment was R\$ 159,996.19, the IRR (Internal Rate of Return) was 35 %, the RTC (Return Time of the Capital) was 4 years and the RBC (Relationship Benefit-cost) equal to 2.30, confirming the profitability of the system. In another scenario, it was analyzed would be the least production of spirit and maximum of alcohol to guarantee the viability of the investment. In this scenario, it was determined that it is necessary at least the production of 7,600 L of spirit for harvest per season to guarantee the viability of the investment. If it is considered an ideal field of sugarcane, with daily production of 600 L of alcohol, during 200 days per year and 33,600 L per year of milk, the cost of alcohol would be R\$ 0,66 and the investment is economically viable if the alcohol could be marketed at least, at R\$ 0,85/litro. Concluding: the analysed column increases his efficiency with the increase of the alcoholic content from the input material; the HETP of the column is adequate compared with similar columns; the alcohol is suitable for the consumption as fuel; the integrated production is economically viable; and the production of alcohol, when the minimum scale was respected, is also economically viable.

INTRODUÇÃO GERAL

1. INTRODUÇÃO GERAL

É notória a importância do agronegócio para a economia brasileira. Segundo dados do IBGE (IBGE, 2008), de 2006 para 2007 o PIB brasileiro passou de R\$ 2,332 trilhões para R\$ 2,558 trilhões, registrando aumento de 9,7% nesse período e a agricultura foi o setor que mais contribuiu para esse crescimento, com aumento de 5,3%. Dentre os produtos que obtiveram maior destaque no cenário agrícola nacional, a cana-de-açúcar desponta, incrementando a economia do setor em 13% no período avaliado.

Concomitante ao crescimento econômico vivido pelo país, a busca pela sustentabilidade se faz presente em todos os setores produtivos: agricultura, comércio, indústria e serviços. Porém, a agricultura recebe grande destaque quando o assunto é a sustentabilidade, primeiro pelos impactos diretos nos recursos naturais que a exploração causa e segundo pela perspectiva de aumento da participação na matriz energética brasileira, com o etanol, o carvão e as oleaginosas.

Dessa forma, a agricultura que, no passado, tinha como meta a produção de alimentos em volume e qualidade tem, atualmente, um novo desafio: a produção de alimentos e de energia. Neste novo cenário, onde a produção com sustentabilidade é requisito para qualquer atividade no agronegócio, as fontes renováveis de energia vêm ganhando adeptos. Porém, essa diversificação da produção agrícola sofre duras críticas quanto ao avanço das áreas destinadas à produção de energia sobre as áreas destinadas à produção de alimentos.

Uma das culturas que mais divide opiniões sobre o assunto é a cana-de-açúcar. A cana-de-açúcar é uma gramínea do gênero *Saccharum L.* com elevado teor de sacarose em seu colmo. Esta característica revela a grande aptidão desta planta para a produção de energia e alimento. Além do elevado teor de sacarose, a cana é uma planta adaptada ao clima tropical, colocando-a em um privilegiado posto de cultura de dupla aptidão no cenário nacional. Outra grande vantagem da cana-de-açúcar é a sua versatilidade em atender à agricultura empresarial, na produção de açúcar e álcool, e à agricultura familiar, na produção de aguardente (cachaça), açúcar mascavo, melado, garapa, rapadura e fonte de volumoso para o gado na época seca do ano.

Dentre os produtos obtidos a partir da cana-de-açúcar, o álcool combustível possui grande destaque no cenário nacional e internacional. Prova disso foi o PROÁLCOOL, implementado em escala comercial no final dos anos 70, que chegou ao auge e ao declínio na década de 80, por problemas políticos que favoreceram o desabastecimento do país. Desde então, o álcool da cana é usado no Brasil como combustível na forma de álcool carburante (hidratado), em carros movidos a álcool ou bicombustíveis ou como anti-detonante, na forma anidra, misturado à gasolina.

Com o aumento da demanda, o Brasil desenvolveu tecnologia para produzir etanol com o preço do barril de petróleo acima de U\$ 50,00. Sob influência da forte crise econômica que o mundo passou a enfrentar a partir de novembro de 2008, o petróleo passou a ser negociado a U\$ 52,00/barril, o que

inviabiliza a produção de álcool a partir de outras matérias-primas, como o milho e o sorgo sacarino. Desta forma, neste cenário, o Brasil pode se tornar um dos poucos países a produzir energia limpa e economicamente viável.

Porém, a produção do etanol brasileiro peca pelo aspecto social, com metade dela sendo ofertada por 10 grandes grupos empresariais e o restante nas mãos de outros empresários. Desta forma, a participação da agricultura familiar nesta produção poderia representar um grande avanço na tentativa de melhorar a qualidade de vida do homem do campo e de minimizar o risco de desabastecimento, já que a oferta do produto seria mais distribuída. Além disso, a produção de etanol pela agricultura familiar poderia seguir outra proposta, a da produção integrada.

A cana-de-açúcar já é uma cultura que faz parte do dia-a-dia da agricultura familiar brasileira, sendo importante fonte de energia para o gado na época seca, além de garantir a produção de melaço, rapadura e aguardente, dentre outros produtos que garantem renda durante todo o ano para o agricultor. Sendo assim, a produção integrada de álcool combustível, aguardente e leite é uma alternativa realista de geração de emprego e renda no campo, haja vista que não são necessárias grandes mudanças para a implementação desta proposta, o que é a maior causa de fracasso nos programas destinados a esse público.

Diante do exposto, neste trabalho, tem-se por objetivo efetuar uma análise técnica e econômica de um sistema integrado de produção de álcool combustível,

aguardente e alimento (leite) utilizando a biomassa da cana-de-açúcar como matéria-prima principal para todo o processo.

Especificamente, foram desenvolvidas as seguintes etapas:

- Avaliação e adequação de uma coluna de destilação com múltiplas funções para produção de álcool combustível e aguardente.
- Realização de um estudo de viabilidade econômica da implantação e manutenção de um sistema integrado de produção de energia e alimento, determinando a produção mínima de cada componente que garanta a viabilidade do investimento e os custos associados a esse processo.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. IBGE. “Contas Nacionais Trimestrais - Indicadores de Volume e Valores Correntes.” *IBGE*. 12 de Março de 2008.
http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1106&id_pagina=1 (acesso em 07 de Novembro de 2008).

CAPÍTULO 1

ANÁLISE TÉCNICA DE UMA COLUNA DE DESTILAÇÃO COM MÚLTIPLA FUNÇÃO

1. INTRODUÇÃO

O etanol ou álcool etílico ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$), sob pressão e temperatura normais apresenta-se líquido, incolor, com odor característico e é miscível em água. Este composto pode ser obtido por síntese química, porém, o processo mais comum é o da fermentação.

Nesse processo, utiliza-se como matéria-prima substâncias açucaradas, amiláceas e celulósicas. No caso das substâncias açucaradas, leveduras específicas como a *Saccharomyces cerevesae*, atuam na síntese das moléculas de sacarose, produzindo catalisadores que levam à produção de etanol. A reação inicia-se com a hidrólise da sacarose pela ação da enzima invertase produzida pela levedura. Em seguida, ocorre a transformação da glicose em álcool etílico e CO_2 , catalisada pela enzima zimase, produzida pelas leveduras, que é uma reação exotérmica (Jesus, 2004). Essa dinâmica é representada na Figura 1.

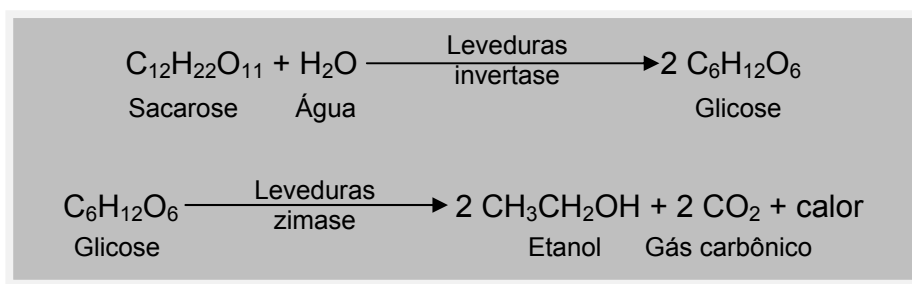


Figura 1 – Representação da dinâmica da fermentação alcoólica da sacarose.

Como o processo de transformação da glicose em etanol ocorre em meio aquoso, e a água e o álcool são miscíveis, a aplicação de processos de

separação destes dois líquidos faz-se necessária para a obtenção do produto desejado.

Dentre os processos mais utilizados para a separação de misturas hidroalcoólicas está a destilação, que é definido como um processo de separação de dois ou mais líquidos pela diferença entre suas temperaturas de ebulição. Basicamente, ocorrem transferências de calor e de massa entre as fases, atingindo estados de equilíbrio intermediários, até a separação entre os componentes. Neste processo, à mesma temperatura e pressão, as fases vapor e líquido da mistura coexistem, sendo necessárias estruturas, denominadas colunas de destilação, com recheios estruturados ou não-estruturados, ou ainda pratos, para aumentar o contato entre as duas fases (COULSON et al., 1999).

No caso específico da destilação de uma mistura hidroalcoólica, sob temperatura e pressão normais, o álcool apresenta temperatura de ebulição de 78,5 °C e a água de 100 °C, definindo a composição das fases líquida e vapor de acordo com a Figura 2.

Pode-se observar na Figura 2 que o sistema etanol-água possui uma condição de azeotropismo, que ocorre quando a diferença entre as pressões de vapor dos componentes é pequena e o desvio negativo da lei de Raoult (Equações 1 e 2) é grande. Esse desvio que acontece quando a pressão do sistema no equilíbrio é menor do que aquela definida como valor ideal nas Equações 1 e 2. Essa condição define uma temperatura máxima na qual não é mais possível separar as substâncias por este processo.

Lei de Raoult para a fase líquida

$$\overline{P}_A = P_A x \qquad \overline{P}_B = P_B(1 - x) \qquad \text{Eq. 1}$$

Lei de Raoult para a fase vapor

$$P_t = \overline{P}_A + \overline{P}_B = P_A x + P_B(1 - x) \qquad \text{Eq. 2}$$

Em que:

\overline{P}_A e \overline{P}_B = Pressão parcial de vapor dos componentes A e B (mmHg);

P_A e P_B = Pressão de vapor dos componentes A e B (mmHg);

P_t = Pressão total (mmHg); e

x = fração molar da substância mais volátil (componente A) (-).

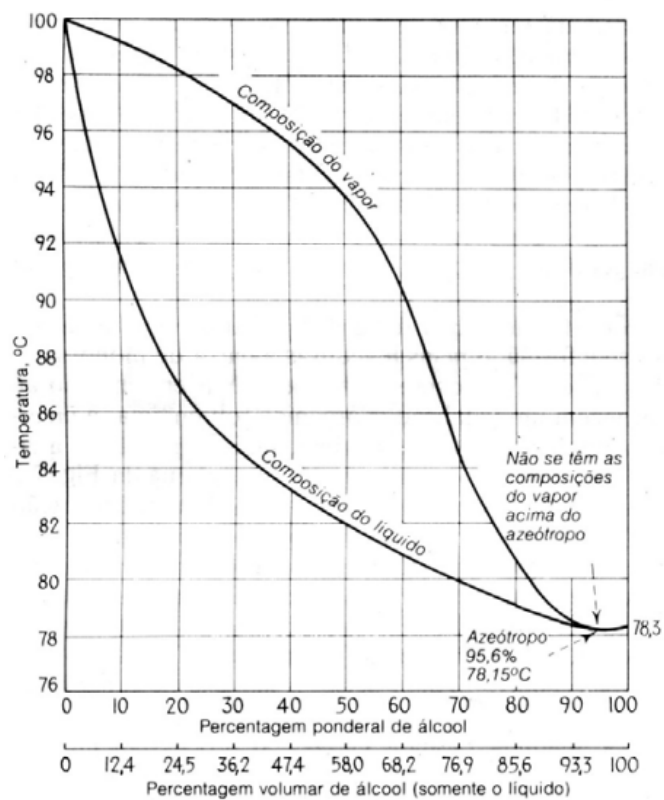


Figura 2 – Composição do vapor e do líquido do sistema água-álcool, a 760 mmHg, em função da temperatura.

Sendo assim, a destilação só é capaz de enriquecer uma mistura de água e etanol até 95,6% de etanol em volume, a uma temperatura de 78,15 °C. Para aumentar a porcentagem de álcool na mistura outros processos devem ser empregados.

O processo de destilação pode ser realizado de forma contínua ou intermitente (batelada). As grandes usinas de produção de álcool combustível fazem a destilação de forma contínua. Porém, como o investimento nesse tipo de equipamento é elevado e, muitas vezes, a escala de produção conveniente para a agricultura familiar não justifica essa tecnologia, processos de destilação intermitentes (batelada) são os mais empregados nesta atividade. Os alambiques e microdestilarias são exemplos de equipamentos intermitentes utilizados na destilação de misturas hidroalcoólicas, quer para a produção de cachaça, quer para a produção de álcool combustível.

As microdestilarias são equipamentos compostos por uma panela para evaporação da mistura, coluna de destilação e condensadores, todos em tamanho equivalente à pequena produção desejada. O principal componente deste equipamento é a coluna de destilação, pois é nela que ocorrem as partições de equilíbrio que permitem a separação dos componentes.

As colunas são estruturas geralmente cilíndricas, com recheios estruturados ou randômicos, ou que contém uma série de pratos perfurados, que permitem o fluxo ascendente de vapor e o fluxo descendente da fase líquida.

No caso específico das microdestilarias, em geral, as colunas são de recheios randômicos de material inerte, com porosidade que garanta o fluxo de vapor e o fluxo de líquido necessários e estruturas acessórias de troca térmica, para garantir as condições de separação dos componentes. A eficiência destes equipamentos é menor que a eficiência para colunas de prato, haja vista que a área interfacial entre a fase líquida e a fase vapor é maior na coluna de pratos, devido ao borbulhamento do vapor através do líquido (CALDAS E LACERDA, 1988).

Partindo deste conceito, a eficiência de uma coluna de recheio é dada em termos de sua *Altura Equivalente a um Prato Teórico (AEPT)*. Como todas as seções de recheio são fisicamente iguais, assume-se que certa altura de recheio corresponde a um estágio de equilíbrio. Esta relação é expressa pela Equação 3.

$$Z = AEPT.N \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

Z = Altura do leito (m);

AEPT = Altura equivalente a um prato teórico (m);

N = Número de estágios de equilíbrio.

Como essas colunas são utilizadas na separação de compostos pela diferença entre suas temperaturas de ebulição, a matéria-prima empregada no processo determina maior ou menor eficiência.

Desta forma, utilizando-se o mosto fermentado da cana-de-açúcar para a produção de etanol, a destilação passa a ser de multicomponentes, sabendo-se

que durante a fermentação deste vinho são formados alguns compostos secundários. Dentre os principais compostos secundários formados durante a fermentação têm-se os ácidos, ésteres, aldeídos e alcoóis, e em menores proporções formam-se também cetonas, compostos fenólicos, aminas e mercaptanas (PEREIRA, 2007).

Seja na produção de aguardente ou na produção de álcool em pequena escala, a destilação ocorre de forma descontínua, ou em batelada. Dessa forma, as substâncias mais voláteis que a água e o álcool são vaporizadas primeiro. Neste primeiro destilado, conhecido como destilado de cabeça, observa-se a presença de água, álcool, bases voláteis, aldeídos e ácidos. Depois da sua separação, os vapores destilados são mais ricos em etanol, com menor quantidade de impurezas voláteis, conhecido como destilado de coração. Por fim, é separado do vinho vapores ricos em água e óleo fúsel, conhecido como destilado de cauda (TRENTO FILHO, 2008).

Sendo assim, neste capítulo é apresentada a análise de desempenho de uma coluna de destilação com multifunção (maior ou menor enriquecimento de álcool) operando com diferentes matérias-primas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Local de realização dos testes

Os testes foram realizados no sítio KR, em Cajuri-MG, onde encontra-se instalada uma unidade de produção de aguardente. A escolha do local baseou-se na disponibilidade de fornecimento de matéria-prima para execução do experimento.

2.2. Matéria-prima

Para a realização dos testes com a microdestilaria foram utilizadas matérias-primas fermentadas e pré-destiladas.

Como matéria-prima fermentada, foram utilizados 300 litros de caldo de cana-de-açúcar fermentado com 12% de álcool. O caldo foi obtido do sítio KR, propriedade onde foi instalado o experimento, onde a fermentação era realizada com fins de produção de aguardente.

Com relação às matérias-primas pré-destiladas, foram utilizados os resíduos da produção de aguardente (cabeça e cauda) e suas misturas, também provenientes do sítio KR. A composição dos volumes e teores alcoólicos utilizados pode ser observada na Tabela 1. O teor alcoólico da mistura foi determinado utilizando-se um densímetro que determina a o teor alcoólico por

meio da densidade da mistura, correlacionando-a com o teor alcoólico pela escala de Gay Lussac (°GL).

Tabela 1 – Matérias-primas pré-destiladas utilizadas para análise da coluna

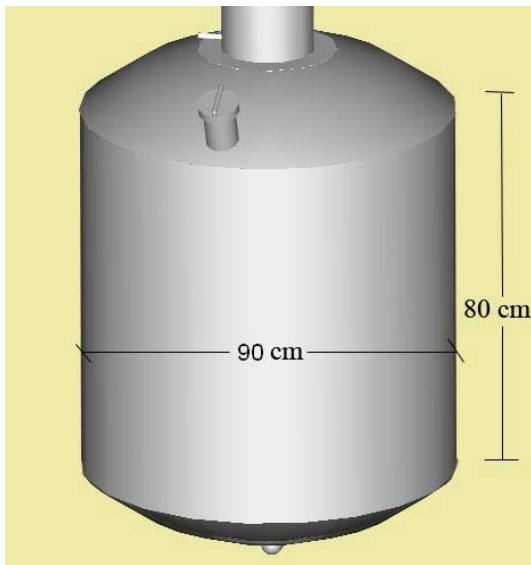
Volume (litro)	Teor alcoólico (°GL)
400	23,0
340	26,0
315	29,0
305	36,0

2.3. Coluna de destilação

A coluna de destilação utilizada para a produção de álcool combustível foi dimensionada e construída conforme coluna descrita por SILVA (2007) e foi instalada no sítio KR, em Cajuri-MG, para análise do sistema integrado de produção de aguardente, leite e álcool. A coluna foi construída em aço inoxidável e é composta das seguintes partes:

a) **Panela**

A panela adaptada na coluna possui 0,90 m de diâmetro e 0,80 m de altura e foi instalada internamente à fornalha de fogo direto utilizada para o aquecimento da matéria-prima (Figuras 3a e 3b).



(a)

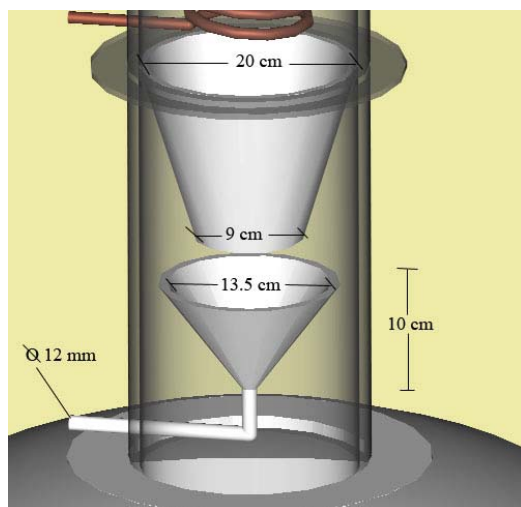


(b)

Figura 3 – (a) Detalhe e dimensões da panela e (b) Instalação da panela na fornalha de fogo direto.

b) Primeiro Coletor de destilado

O primeiro coletor de destilado fica localizado logo acima da panela e é composto por um tubo em aço inox de 20 cm de diâmetro e possui estruturas internas de captação e coleta da mistura na forma líquida enriquecida em álcool. Os detalhes internos do coletor podem ser vistos na Figura 4a e na Figura 4b verifica-se a estrutura real que foi instalada na coluna.



(a)

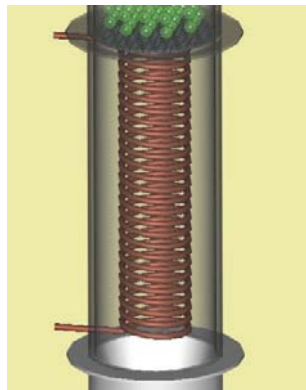


(b)

Figura 4 – (a) Vista interna e dimensões do coletor e (b) Vista externa do coletor construído em aço inox instalado na base da coluna.

c) Primeiro trocador de calor

O primeiro trocador de calor foi instalado logo acima do primeiro coletor e é composto por um tubo de cobre de $\frac{1}{2}$ " (12,7 mm) com 12 m de comprimento, na forma de serpentina, instalado internamente a um tubo inoxidável com 20 cm de diâmetro e 50 cm de altura. Os detalhes desta peça podem ser visualizados na Figura 5a e na Figura 5b.



(a)



(b)

Figura 5 – (a) Detalhe interna da serpentina e (b) Trocador de calor em aço inox instalado na coluna.

d) Recheio e segundo coletor de destilado

Na coluna foi instalado 1,20 m de recheio randômico composto por esferas de vidro com diâmetro médio de 7 mm e porosidade média de 60 %. O diâmetro médio foi determinado medindo-se o diâmetro de 10 esferas, obtendo-se a média entre elas e a porosidade medida acrescentando-se o número máximo de esferas dentro de um recipiente com volume conhecido e completando-se o volume com água. Desta forma, o volume de água acrescentado corresponde ao volume ocupado por ar entre as esferas, configurando sua porosidade. O segundo coletor de destilado possui as mesmas dimensões do primeiro e está localizado logo acima do recheio. Os detalhes desta estrutura podem ser visualizados nas Figuras 6a e 6b.



(a)

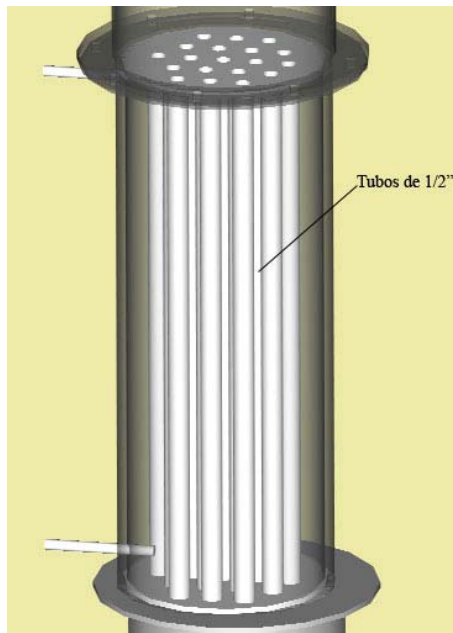


(b)

Figura 6 – (a) Detalhes internos da seção de recheio e (b) Estrutura instalada na coluna.

e) Segundo trocador de calor e campânula

O segundo trocador de calor é composto por 10 tubos de aço inox de $\frac{1}{2}$ " (12,7 mm), com 50 cm de comprimento, instalados internamente ao tubo principal da coluna, permitindo que o vapor rico em álcool passe em seu interior e que água fria passe por entre esses tubos, de modo a trocar calor com o vapor ascendente. Sobre essa estrutura foi instalada uma campânula para orientar o fluxo de vapor ao condensador. Os detalhes internos e dimensões desta estrutura podem ser visualizados na Figura 7a e 7b.



(a)



(b)

Figura 7 – (a) Detalhes internos do trocador de calor e (b) Estrutura conjunta do trocador de calor e campânula instalado na coluna.

Todas as peças mostradas anteriormente compuseram a coluna com multifunção que foi instalada sobre uma fornalha de fogo direto, para queima de bagaço ou lenha, construída em alvenaria. A coluna pode ser visualizada na Figura 8.



Figura 8 – Coluna de destilação instalada sobre a fornalha de fogo direto.

2.4. Aquisição de dados

A coluna foi instrumentada com cinco termopares tipo K, com haste de 50 cm de comprimento, ao longo de sua altura, em pontos de interesse, bem como na fornalha e na panela. Os pontos de tomada de temperatura podem ser vistos na Figura 9.

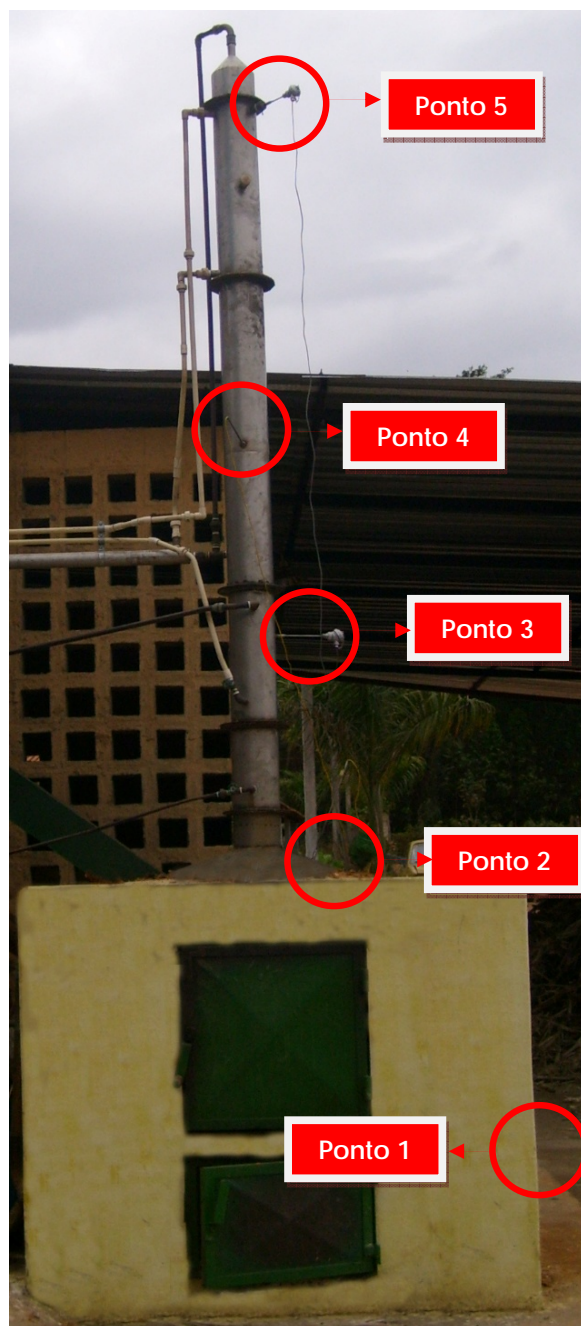


Figura 9 – Pontos de tomada de dados de temperatura.

No Quadro 1 é apresentada a descrição dos pontos de aquisição de dados, indicando a relação dos pontos e local de instalação na estrutura.

Tabela 2 – Descrição dos pontos de aquisição de dados.

Nº do ponto	Nome do ponto	Local de instalação
1	Fornalha	Do lado direito e internamente à fornalha, na direção do fundo da panela, a 30 cm da parede. Em contato com a chama.
2	Panela	Na parte interna da panela, a 50 cm do topo em direção ao centro da panela. Em contato com a fase vapor.
3	Primeiro trocador	Na metade do diâmetro e da altura da seção, em contato com a fase vapor.
4	Recheio	Na metade do diâmetro e da altura da seção, em contato com a fase vapor e as esferas de vidro,
5	Segundo trocador	Na metade do diâmetro e no topo da seção, em contato com a água de resfriamento que circula na estrutura.

As tensões elétricas decorrentes das forças eletromotrizes térmicas geradas pelos termopares foram reconhecidos e transformados em dados de temperatura por um sistema de aquisição de dados (datalogger) da marca FLUKE modelo Hydra com 25 canais de leitura (Figura 10). Esses dados foram obtidos em intervalos de 15 minutos durante todo o processo de destilação.



Figura 10 – Equipamento utilizado para aquisição de dados de temperatura.

Além dos dados de temperatura, foram obtidos dados de teor alcoólico e volume destilado, conforme metodologia apresentada por JESUZ (2004).

Também foi determinada a quantidade de energia consumida pelo processo, por meio do consumo de biomassa (lenha e bagaço) na fornalha e o Poder Calorífico Inferior (PCI) deste combustível, conforme a equação 4. O PCI foi determinado no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira da Universidade Federal de Viçosa, por meio de uma bomba calorimétrica.

$$Q = M_c \cdot PCI \cdot \eta \quad \text{Eq. 4}$$

Em que:

Q = Energia adicionada ao processo (kJ);

M_c = Massa de combustível (kg);

PCI = Poder calorífico inferior (kJ.kg⁻¹);

η = Eficiência da fornalha (-).

Para efeito de cálculo do consumo de energia, foi considerada a eficiência média de fornalhas de fogo direto igual a 80 % (SILVA, 2008).

Vale a pena destacar que, como o processo de destilação utilizado foi em batelada, não foi possível manter uma regularidade no teor de álcool do destilado, haja vista que não existe refluxo externo. Sendo assim, considerou-se como destilado próprio para uso como combustível o condensado com até 85 °GL, o que determinou teores diferentes de álcool no destilado de cada teste.

Por fim, três amostras do destilado obtido foram enviadas para análise no Laboratório de Ensaio de Combustíveis da Universidade Federal de Minas Gerais, que analisa as amostras de acordo com as normas da Agência Nacional do

Petróleo e está habilitado a emitir laudos sobre a conformidade destes combustíveis.

2.5. *Análise de rendimento da coluna de destilação*

Os testes para análise de rendimento da coluna de destilação foram realizados aos domingos, entre os dias 27 de Julho e 31 de Agosto de 2008. Os testes iniciaram em horários variados, de acordo com a disponibilidade de infraestrutura do sítio onde foi instalado o experimento.

A análise de desempenho da coluna de destilação foi realizada partindo-se de dados reais de temperatura ao longo da coluna e do acompanhamento do volume e do teor alcoólico do destilado, em associação com o consumo de energia verificado em cada teste. Desta forma, com a determinação do consumo específico de energia no processo determinou-se com qual matéria-prima a coluna apresentou melhor desempenho.

Do mesmo modo, uma análise teórica de adequação da coluna foi realizada a partir da determinação da altura equivalente a um prato teórico (AEPT), conforme a Equação 3. Para a determinação do número de estágios teóricos de separação, utilizou-se o método McCabe-Thiele (COULSON, et al. 1999), que é um método gráfico de determinação dos estágios de separação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise experimental de desempenho

Na análise experimental de desempenho da coluna de destilação, foram analisados o volume destilado, o teor alcoólico do destilado a 20 °C, o tempo de destilação e o consumo de energia para a operação. Esses parâmetros estão apresentados na Tabela 3. Para o cálculo do consumo de energia utilizou-se os valores de PCI para lenha e bagaço determinados a partir de amostras retiradas no local, cujos valores foram de, aproximadamente, 4.254 kJ.kg⁻¹ e 3.981 kJ.kg⁻¹, respectivamente. Os valores encontrados encontram-se abaixo da média para tais combustíveis, o que pode ser explicado pelo elevado teor de umidade dos produtos.

Tabela 3 – Análise de desempenho da coluna operando com diferentes matérias-primas.

Matéria-prima	Volume (L)	Tempo de destilação (H)	Volume destilado (L)	Teor alcoólico a 20 °C (° GL)	Produtividade (L/H)	Consumo Energético (KJ)
Mosto (12 °GL)	300	2:30	28	85	11,2	510.528
PD* (23 °GL)	400	5:15	75	87	14,29	584.980
PD*(26 °GL)	340	6:45	80	89	11,85	699.423
PD* (29 °GL)**	315	7:15	85	89	11,72	1.342.430
PD* (36 °GL)	305	4:45	105	87	22,10	495.637

*PD: Pré-destilado. ** Teste realizado com bagaço de cana.

Observa-se na Tabela 2 que o maior rendimento foi obtido utilizando-se a matéria-prima com maior teor de álcool (pré-destilado a 36 °GL) e o menor, por sua vez, obtido com o mosto que foi a matéria-prima com menor graduação alcoólica. Tal comportamento já era esperado, sabendo-se que quanto maior a graduação alcoólica na alimentação, menos estágios teóricos de separação são necessários e, para uma mesma altura de recheio, maior é sua eficiência de separação.

Porém, como os volumes destilados foram diferentes, avaliou-se o consumo específico de energia, com base no consumo obtido e no volume coletado, como pode ser observado na Figura 11. Vale a pena destacar que somente o teste com PD a 29 °GL foi realizado com bagaço de cana, sendo todos os outros realizados com a combustão da lenha.

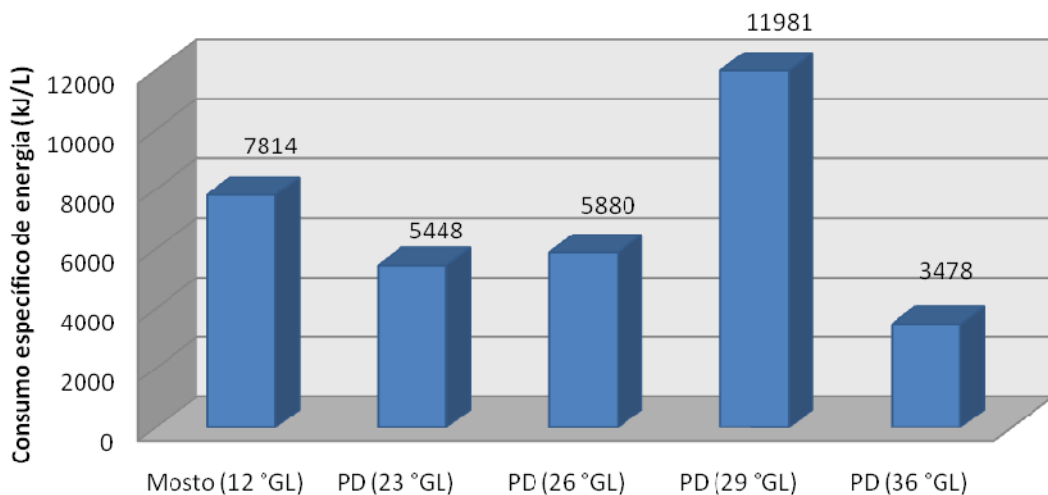


Figura 11 – Consumo específico de energia para as diferentes matérias-primas.

Da mesma forma, para o teste com pré-destilado a 36 °GL observou-se o menor consumo específico de energia, confirmando que a eficiência da coluna é maior com tais produtos. Já o maior consumo específico de energia foi observado para o teste com 29 °GL, o que pode ser explicado pelo fato deste teste ter sido realizado com bagaço de cana. Como a combustão deste material ocorre de maneira muito rápida, não há tempo hábil para o sistema (fornalha+panela) absorver toda a energia liberada, fazendo com que grande parte do calor seja perdido para o ambiente. Já o teste com o mosto obteve o maior consumo específico de energia, o que pode ser explicado pela maior dificuldade de separação dos compostos, já que o soluto estava menos concentrado.

Com relação à variação de temperatura ao longo da coluna, nas Figuras 12 a 16, pode-se verificar o comportamento desta variável.

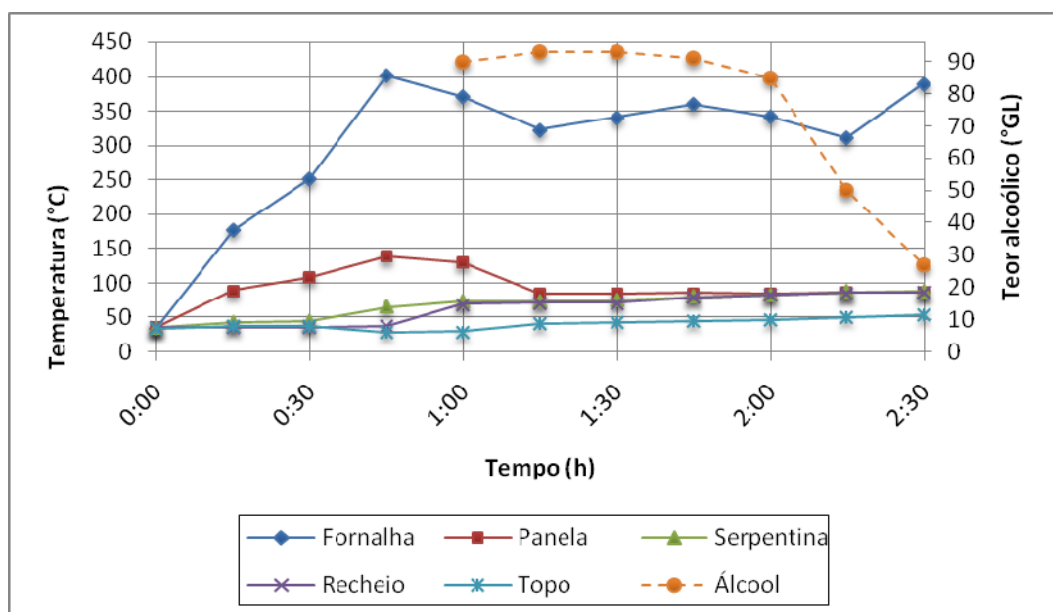


Figura 12 – Variação de temperatura ao longo da coluna de destilação e do teor de álcool para o mosto (12 °GL).

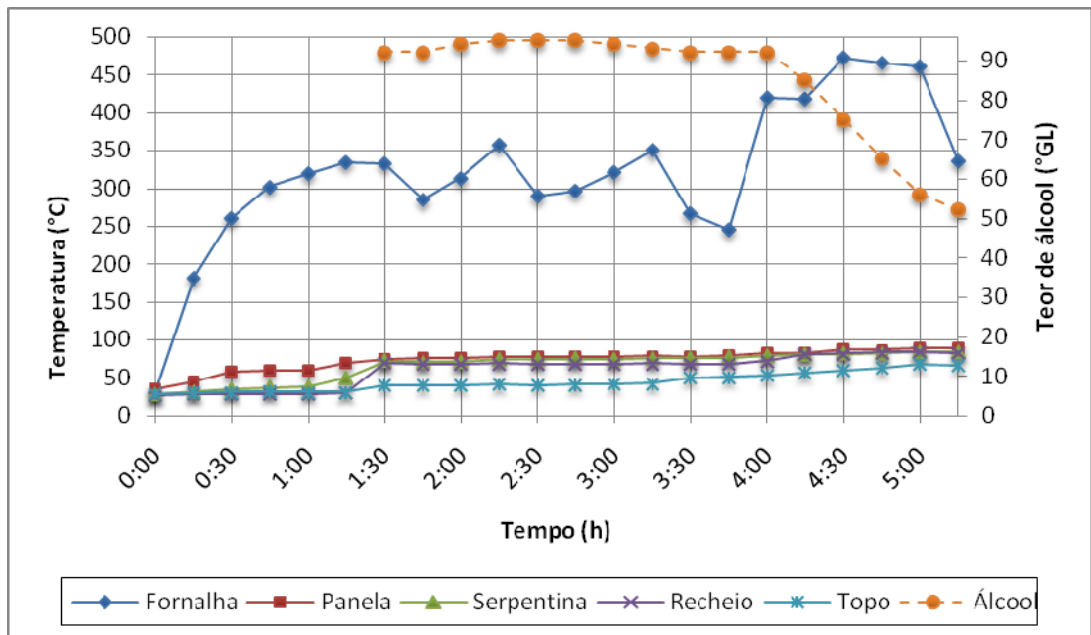


Figura 13 – Variação de temperatura ao longo da coluna de destilação e do teor de álcool para o pré-destilado a 23 °GL.

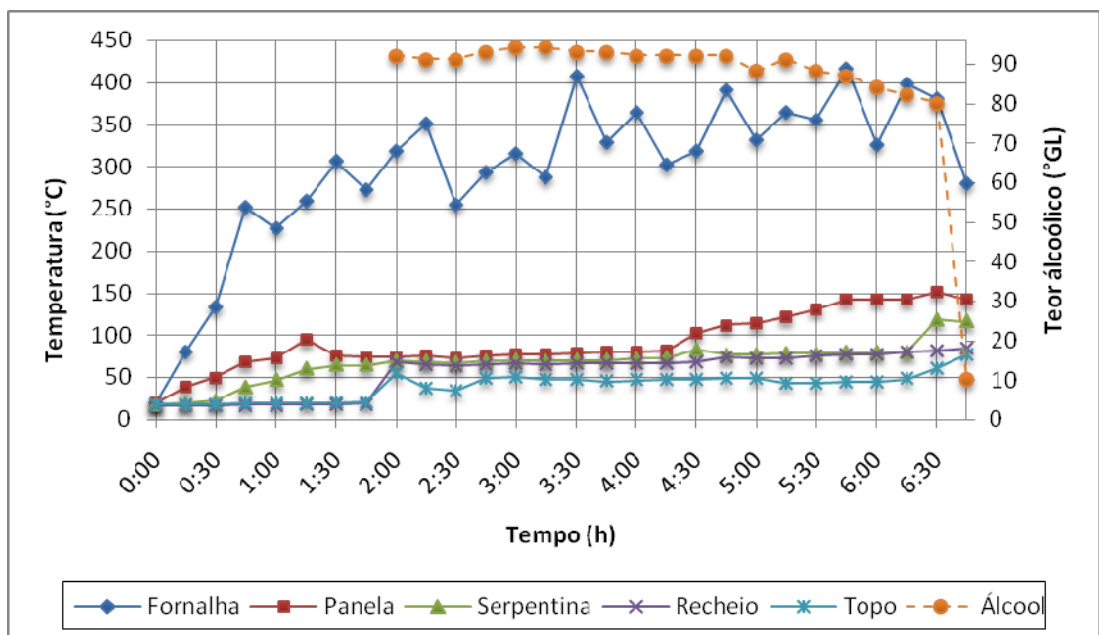


Figura 14 - Variação de temperatura ao longo da coluna de destilação e do teor de álcool para o pré-destilado a 26 °GL

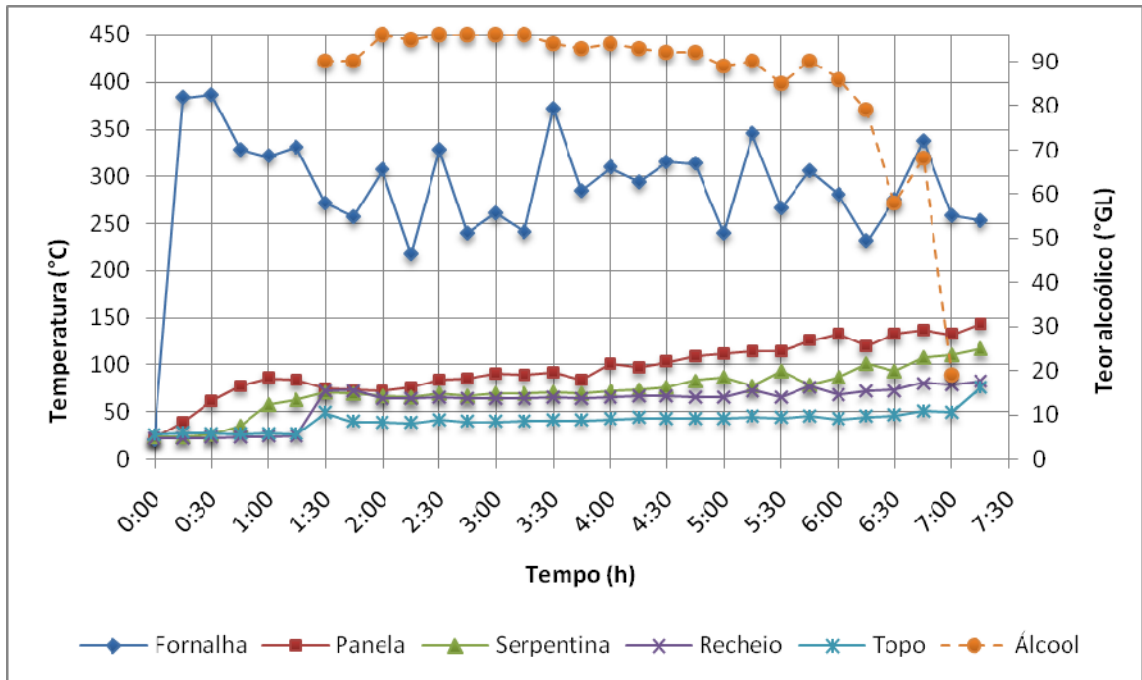


Figura 15 – Variação de temperatura ao longo da coluna de destilação e do teor de álcool para o pré-destilado a 29 °GL.

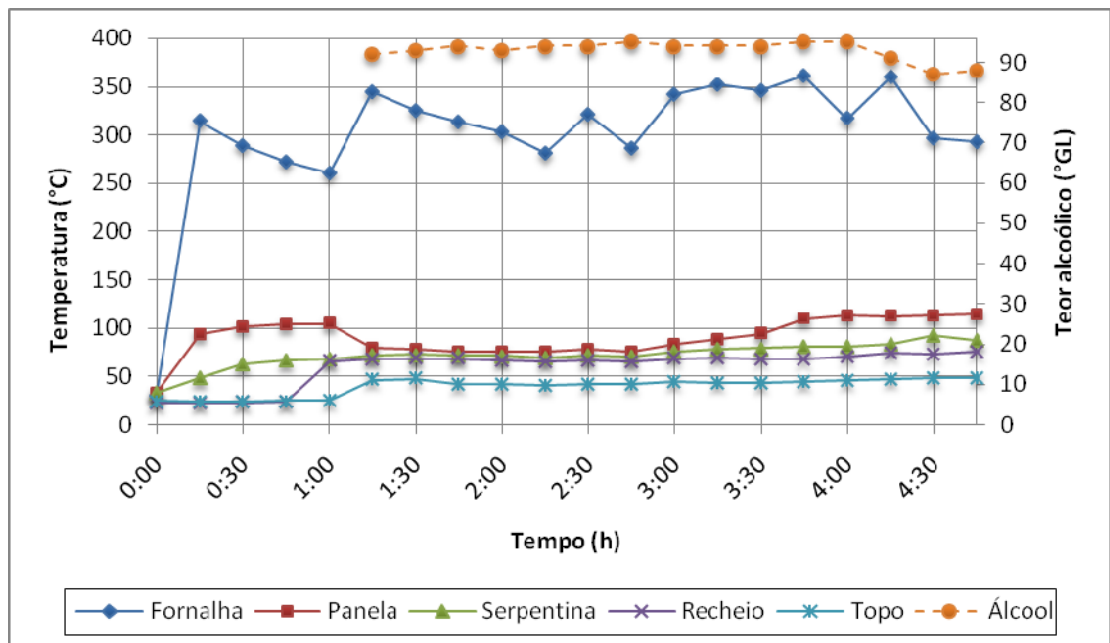


Figura 16 - Variação de temperatura ao longo da coluna de destilação e do teor de álcool para o pré-destilado a 36 °GL.

Sendo assim, identifica-se que, o aumento da temperatura no topo da coluna é coincidente com o início da condensação do álcool, o que pode ser explicado pelo fato deste aumento de temperatura ser relativo à passagem do vapor pelo termopar, aumentando a temperatura neste ponto.

Os picos de temperatura observados na fornalha representam a alimentação com combustível (lenha ou bagaço), aumentando substancialmente a temperatura interna da fornalha naquele momento. Vale destacar que os picos são muito mais constantes no teste com pré-destilado a 29 °GL, que foi o único realizado com bagaço de cana.

3.2. Análise do álcool combustível

A análise do álcool foi realizada segundo as normas da ANP para análise deste combustível (ANP, 2005). Destaca-se que tais parâmetros de qualidade são puramente comerciais e que vários autores citam que o álcool combustível é uma mistura hidroalcoólica com, no mínimo, 83,5% de álcool (MOTHER ALCOHOL FUEL SEMINAR, 1980; CRISPIM e VIEIRA, 2001).

Os resultados obtidos em tais análises são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultado da análise do álcool combustível de acordo com as normas da ANP (ANP, 2005).

Parâmetro	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Limites
Aspecto	Límpido e isento de impurezas	Turvo e sem impurezas	Límpido e isento de impurezas	Límpido e isento de impurezas
Cor	Incolor	Incolor	Incolor	Incolor
Massa Específica a 20 °C (kg.m ⁻³)	819,6	824,5	820,7	807,6 a 811,0
Teor Alcoólico (°INPM)	89,4	87,5	89,0	92,6 a 93,8
pH	5,2	5,9	5,3	6,0 a 8,0
Condutividade elétrica (µS.m ⁻¹)	25	66	27	Max 500

Como pode ser observado, todas as amostras enviadas para análise não estão aptas à comercialização, segundo os parâmetros definidos pela ANP. Porém, este produto pode ser usado como álcool combustível, seguindo as orientações de Mother Alcohol Fuel Seminar (1980) e de Crispim e Vieira (2001).

Como se sabe, o processo de destilação é um processo de transferência de calor e massa e, dessa forma, a vazão e a temperatura da água servida ao trocador é de suma importância para o sucesso da atividade. No caso da execução destes testes, como a microdestilaria funcionou concomitante ao alambique para a produção de cachaça, a vazão de água foi insuficiente para garantir as taxas ideais de troca térmica. Além disso, a água já entrava no processo com temperatura maior que a ambiente, haja vista que ela era recirculada durante todo o processo, comprometendo assim o perfeito funcionamento do equipamento.

Mesmo com tais problemas técnicos, a coluna produziu material com teor alcoólico dentro da faixa estabelecida pela ANP, como pode ser observado nas Figuras 12 a 16. Como o álcool não será comercializado, mas sim consumido na propriedade, o destilado foi recolhido como álcool combustível até o teor de 85 °GL, perfazendo misturas com teores menores que o recomendado pela ANP. Este fator afeta, não só o teor alcoólico da amostra, como também a massa específica, haja vista que com maior teor de água que o padrão e a presença de outros compostos oriundos da fermentação para aguardente, a densidade da mistura muda.

Desta forma, como para o caso de microdestilarias não se pretende produzir etanol para a comercialização direta, já que colunas de retificação do produto são necessárias para a adequação deste, sugere-se a associação de produtores de álcool combustível com microdestilarias em cooperativas, de modo a viabilizar a aquisição de equipamentos de retificação e homogeneização do material e a produção de uma quantidade que garanta escala comercial.

Outro ponto que divergiu dos padrões definidos pela ANP foi o pH do produto. Porém, como utilizou-se matéria-prima oriunda da fermentação para produção de aguardente e o seu pH médio é de 4,0 a 5,0 (Pereira 2007), a adequação a este parâmetro vai depender de outros processos, sabendo-se que na destilação em batelada, essa correção é difícil de ser realizada.

3.3. Análise teórica de desempenho da coluna de destilação

A análise teórica de desempenho da coluna de destilação foi realizada com base na determinação da *Altura Equivalente a um Prato Teórico* (AEPT), que correlaciona os estágios de separação em uma coluna de recheio com um prato teórico, conforme a Equação 3.

Para a determinação deste parâmetro, faz-se necessária a determinação do número de estágios teóricos para a separação da mistura, que foi realizada pelo método McCabe-Thiele (COULSON, et al. 1999). Na Figura 17 pode-se observar o número de estágios teóricos para o mosto e para o pré-destilado a 36 °GL, que são a pior e a melhor situação para destilação. Para a aplicação deste método, calculou-se a fração molar do mosto e as dos pré-destilados utilizados, bem como a fração molar do álcool combustível, com a utilização da equação 5.

$$fm_m = \frac{fm_{soluto}}{fm_{soluto} + fm_{solvente}} \quad \text{Eq. 5}$$

Em que:

fm_m = Fração molar da mistura (-);

fm_{soluto} = Fração molar do soluto (-);

$fm_{solvente}$ = Fração molar do solvente (-).

Os dados obtidos a partir dos volumes de matéria-prima utilizados podem ser vistos na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores da fração molar de álcool nas misturas utilizadas como matérias-primas.

Teor alcoólico (°GL)	mol etanol	mol água	Massa etanol	Massa água	Fração molar do etanol	Fração molar da água	Fração na mistura
12	0,046	0,018	0,094	0,88	2,047	48,889	0,040
23	0,046	0,018	0,180	0,77	3,925	42,778	0,084
26	0,046	0,018	0,204	0,74	4,436	41,111	0,097
29	0,046	0,018	0,227	0,71	4,948	39,444	0,111
36	0,046	0,018	0,28	0,64	6,143	35,556	0,147

Com base na Tabela acima, utilizou-se os valores de fração molar do mosto e do pré-destilado a 36 °GL, que configuram as situações extremas de destilação para os testes realizados. A fração molar do álcool combustível foi determinada como sendo 0,78, com base na mesma equação citada anteriormente.

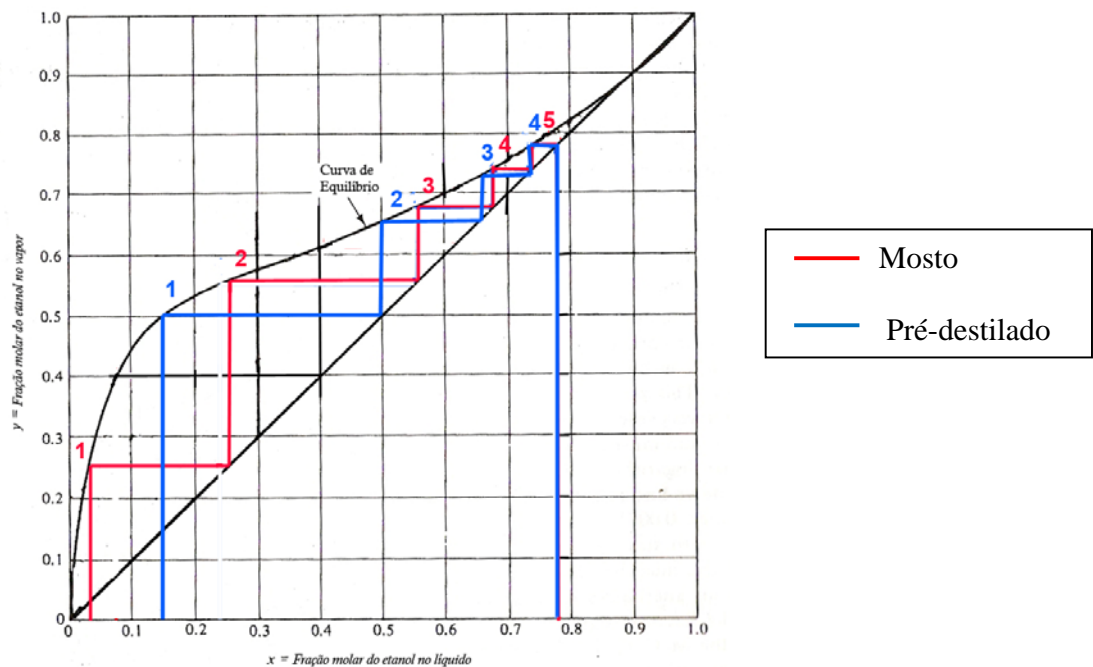


Figura 17 – Determinação do número de estágios teóricos para a destilação do etanol pelo método McCabe-Thiele.

Com base nessas determinações, sabendo-se que a altura do leito é de 1,20 m, a Altura Equivalente a um Prato Teórico para as duas situações estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – AETP para o mosto e o pré-destilado a 36 °GL.

Matéria-prima	Altura do leito (m)	Nº de estágios teóricos	AEPT
Mosto (12 °GL)	1,20	5	0,24
Pré-destilado (36 °GL)	1,20	4	0,30

Como não foram encontrados valores para AEPT para coluna com diâmetro de 0,20 m e recheio com esferas de vidro, comparou-se o valor obtido com os valores encontrados para a mistura de etanol e água utilizando-se anéis de rasching como recheio, que apresenta porosidade entre 0,30 e 0,94 (CALDAS e LACERDA, 1988). Os mesmos autores citam ainda que os valores de AEPT para esse tipo de recheio, com colunas de diâmetro entre 0,25 e 0,50 m, são da ordem de 0,20 a 0,38. Desta forma, verifica-se que o valor encontrado está próximo do que foi citado pelos autores, mesmo considerando que o recheio e o diâmetro da coluna sejam diferentes.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANP – Agência Nacional do Petróleo. *Portaria nº 36 de 06/12/2005*. 2005.
[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2005/dezembro/r_anp%2036%2002005.xml?f=templates\\$fn=default.htm&sync=1&vid=anp:10.1048/enu](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2005/dezembro/r_anp%2036%2002005.xml?f=templates$fn=default.htm&sync=1&vid=anp:10.1048/enu) (acesso em 07 de Novembro de 2008).
2. CALDAS, J.N., E A.I. LACERDA. *Torres recheadas*. Rio de Janeiro, RJ: JR editora, 1988.
3. COULSON, J.M., J.F. RICHARDSON, J.R. BACKHURST, E J.H. HARKER. *Coulson & Richardson's Chemical Engineering Handbook*. 6ª Edição. Vol. 2. Oxford: Editora Butterworth-Heinemann, 1999.
4. CRISPIM, J. E., E S. A. VIEIRA. “Cana-de-açúcar: boa alternativa agrícola e energética para a agricultura nacional.” *Revista Agropecuária Catarinense* 2 (2001).
5. JESUZ, J.C. “Análise de um destilador de álcool em regime contínuo.” Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa (Tese de doutorado), 2004.
6. MOTHER ALCOHOL FUEL SEMINAR. “Chapter 1 - Introduction to a Farmer's Fuel Alcohol.” *Mother Earth News*. Kansas, 1980.

7. PEREIRA, A.F. "Suplementação de nitrogênio sobre a fermentação alcoólica para a produção de cachaça, cerveja e vinho." Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa (Dissertação de mestrado), 2007.
8. PERRY, R.H., D.W. GREEN, E J.O. MALONEY. *Perry's Chemical Engineering Handbook*. New York: McGraw-Hill, 1999.
9. SALES, L.C.M. OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE PARTIDA A FRIO DE VEÍCULOS A ÁLCOOL PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES NA EXAUSTÃO. Belo Horizonte, MG. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. (Dissertação de mestrado). 2001.
10. SHREVE, R.N. *Indústrias de processos químicos*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1980.
11. SILVA, J.S. *Produção de álcool combustível na fazenda*. Viçosa, MG: Suprema Gráfica e Editora, 2007.
12. SILVA, J.S. *Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas*. Viçosa, MG: Editora Aprenda Fácil, 2008.
13. TRENTO FILHO, A. J.. *Produção de cana-de-açúcar e qualidade da cachaça em Morretes-PR*. Curitiba-PR. Universidade Federal do Paraná. (Dissertação de mestrado). 2008.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO INTEGRADA DE ÁLCOOL COMBUSTÍVEL, AGUARDENTE E LEITE

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma das gramíneas mais versáteis cultivadas nas regiões tropicais, sendo empregada, *in natura*, como forragem para o gado ou como matéria-prima para a produção de rapadura, melaço, cachaça e álcool combustível (MENDES, 2006).

Exceto para a utilização como volumoso para ruminantes, faz-se necessário extrair o caldo rico em sacarose do colmo da planta. Sendo assim, depois da extração do caldo, o produto pode seguir duas vias de transformação: a utilização direta da sacarose ou sua fermentação.

A fermentação é o processo de degradação de carboidratos simples (açúcares) ou complexos (amido) pela ação de leveduras formando álcool e CO₂ (SILVA, 2007). No Brasil, o álcool combustível é produzido, em sua grande maioria, pela fermentação do caldo da cana-de-açúcar, sendo a utilização de carboidratos complexos muito restrita no país.

O álcool combustível, ou álcool etílico hidratado combustível (AEHC), é definido pela ANP como uma mistura hidroalcoólica com teor mínimo de etanol de 92,6%, produzida no país ou importada para utilização como combustível em motores de combustão interna de ignição por centelha (ANP, 2005). Porém, o álcool a partir de 85 °GL pode ser usado como combustível (MOTHER ALCOHOL FUEL SEMINAR, 1980; CRISPIM e VIEIRA, 2001).

A importância do etanol para a economia do país é indiscutível, e, um novo mercado se abre para a agregação de valor ao produto: a venda de créditos de

carbono. A utilização da cana-de-açúcar para a produção de etanol tem-se mostrado uma ótima opção para o seqüestro de CO₂ da atmosfera, o que pode ser justificado pela elevada taxa de seqüestro de CO₂ da cana, que está em torno de 145,3 t ha⁻¹ ciclo⁻¹ (CHOFI, et al., 2004). Quando comparada à taxa de outras espécies vegetais, como a do eucalipto que é de 45,6 t ha⁻¹ ano⁻¹ (MAESTRI, et al., 2004) pode-se perceber a potencialidade da cultura da cana-de-açúcar.

Além do etanol, a cachaça é uma mistura hidroalcoólica produzida a partir da destilação do caldo fermentado da cana-de-açúcar, sendo definida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) na Instrução Normativa n° 13 como a bebida obtida pela destilação do mosto fermentado com graduação alcoólica entre 38% e 48% em volume.

Tal como o vinho na Itália, o uísque na Escócia e a cerveja na Alemanha, o Brasil vem se destacando na produção de cachaça, sendo a segunda bebida alcoólica mais consumida no país (CARDOSO, et al. 1999).

O Brasil possui uma produção de aguardente de, aproximadamente, 1,5 bilhões de litros por ano, gerando IPI, ICMS e outros impostos. Minas Gerais destaca-se na produção deste destilado, com uma produção anual de 120 milhões de litros e um consumo de 170 milhões de litros, gerando cerca de 120 mil empregos diretos e três vezes mais empregos indiretos. Embora a atividade da produção de aguardente de cana seja economicamente importante, estima-se que, por volta de 90% da produção de aguardente de cana na forma artesanal no

Estado de Minas Gerais, seja feita em alambiques não registrados (CARDOSO, et al. 1999).

Além do colmo, rico em açúcar, a cana-de-açúcar ainda produz uma porção foliar, conhecida como ponteira ou ponta da cana, que pode ser utilizada na alimentação de ruminantes. Estima-se que, a cada 100 toneladas de cana preparada para ir ao engenho, são produzidas 20 toneladas de ponteira que pode ser aproveitada como fonte de volumoso, principalmente na época seca do ano, quando as pastagens apresentam declínio produtivo e a cana está no seu auge.

Essa porção fibrosa da cana-de-açúcar é composta por celulose, hemicelulose e lignina, como a maioria das forragens (RODRIGUES e PEIXOTO, 1993). Porém o arranjo sistemático da celulose e hemicelulose estão incrustados por lignina. Isto implica em maior dificuldade de acesso das enzimas do rúmem aos pontos de ruptura do polímero celulósico, reduzindo, assim, sua capacidade de hidrólise e a absorção destes polímeros pelos animais. Para reduzir os efeitos maléficos deste arranjo molecular o fornecimento da ponta de cana deve ser associado à uréia e sulfato de amônia, melhorando a digestibilidade do material. Além do volumoso (forrageira) os animais devem receber uma porção de material concentrado, para garantir o fornecimento das vitaminas e sais minerais essenciais ao ganho de peso e de produtividade de leite.

Outro sub-produto importante gerado na produção de destilado de cana-de-açúcar é o bagaço que é importante biomassa para produção de energia, o que já é muito comum em indústrias do gênero. Do mesmo modo, o bagaço pode

ser incorporado à alimentação animal, como uma importante fonte de fibra, ou ainda ser levado para a produção de adubo orgânico juntamente com outros materiais de fácil decomposição, como esterco e vinhoto, pelo processo da compostagem.

Diante do exposto, vislumbra-se a possibilidade da produção integrada de álcool etílico hidratado combustível, cachaça e leite, de forma a garantir a produção de energia e alimento, em uma conjuntura sustentável do ponto de vista econômico, social e ambiental. Ademais, os modelos atuais de produção de aguardente de qualidade descartam a cabeça e a cauda, que podem ser aproveitados na produção de álcool, e a ponta da cana que é deixada na lavoura no processo de corte, aproveitada na alimentação animal. Para viabilizar a produção de etanol em pequena escala vislumbrou-se a necessidade do desenvolvimento de um equipamento de destilação que se adaptasse às necessidades tecnológicas e econômicas da agricultura familiar. Silva (2007) desenvolveu uma coluna com múltipla função com produção média de 50 L h^{-1} que permite a produção simultânea de cachaça, álcool de baixo grau (até $80 \text{ }^\circ\text{GL}$) e álcool de alto grau (até $94 \text{ }^\circ\text{GL}$), quando operada nas melhores condições.

Sendo assim, o objetivo, deste trabalho, é demonstrar os custos e dividendos derivados da produção integrada e qual a escala de produção garante maior equilíbrio entre os gastos e rendimentos da atividade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido nas dependências do Sítio KR localizado na zona rural de Cajuri-MG, conhecida como Sapé, onde se encontra em funcionamento uma agroindústria de produção de aguardente.

2.1. Escolha do local

O sítio KR, com uma área de 4 ha, possui um canavial, que ocupa 2,8 ha e uma unidade de produção de aguardente. A escolha do local foi baseada na infraestrutura existente, o que reduziu os investimentos necessários à realização deste estudo. Como a propriedade rural já possui equipamentos para produção de aguardente, pequenas modificações foram necessárias para a produção integrada de aguardente, álcool combustível e o confinamento de vacas leiteiras.

Outro fator determinante para a escolha do local foi o fato de a análise ser realizada em uma pequena propriedade rural, nos moldes da agricultura familiar, o que garante uma análise mais realista das condições de trabalho e da viabilidade do investimento.

2.2. Matéria-prima

A matéria prima utilizada para a produção de álcool, aguardente, e como volumoso ao gado confinado foi a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*).

A produtividade do canavial foi avaliada *in loco* seguindo a metodologia citada por Silva *et al.* (1999). Foram escolhidas 3 linhas por hectare amostrado, determinado o número de colmos para cada 10 m em cada linha e, por fim, pesados 10 colmos retirados aleatoriamente dentro dos 10 m escolhidos. A produtividade por hectare foi calculada pela Equação 5.

$$P_c = \frac{M_c}{10} \frac{N_c}{10} L \quad \text{Eq. 5}$$

em que

P_c = Produtividade de colmos, t ha⁻¹ ano⁻¹.

M_c = Massa de 10 colmos, t.

N_c = Número de colmos em 10 m de linha.

L = comprimento de linhas por hectare, m ha⁻¹.

Da mesma forma, a produtividade de ponta de cana disponível para a alimentação animal pode ser calculada pela Equação 6 seguindo a mesma metodologia citada anteriormente.

$$P_p = \frac{M_p}{10} \frac{N_c}{10} L \quad \text{Eq. 6}$$

em que

P_p = Produtividade de ponta de cana, t ha⁻¹ ano⁻¹.

M_p = peso de 10 pontas, t.

O bagaço produzido depois da moagem da cana foi utilizado na produção de energia para a destilação da aguardente e do álcool, na forma de aquecimento pela queima direta da biomassa.

2.3. Colheita da cana

A colheita da cana foi realizada de forma manual e sem a queima prévia do canavial. Desta forma, foi possível a separação de duas porções da planta: a ponta e o colmo. A ponta da cana foi oferecida aos animais *in natura* em associação à uréia e sulfato de amônia na proporção de 0,5% com relação à massa de ponta fornecida aos animais. Já o colmo foi destinado à produção de caldo fermentado, para posterior destilação.

A colheita da cana iniciou-se no dia 17/07/2008, com o corte de apenas uma tonelada para a reativação do fermento, que havia sido separado na safra anterior. Já do dia 20/07/2008 até o dia 23/09/2008 a colheita foi realizada de modo a garantir a produção de 1.200 L de caldo, com grau BRIX corrigido, por dia, totalizando 63 dias de safra.

2.4. Moagem da cana e fermentação do caldo

A extração do caldo rico em sacarose foi feita em engenho com um terno de moenda acionado por um motor elétrico com potência de 3,68 kW (5 cv).

A cana foi colhida com teor de açúcar no colmo variando entre 19 e 22

°Brix, teor este inadequado para o processo de degradação dos açúcares pelas leveduras. Depois de passar por um processo de decantação, fez-se necessário a diluição do caldo da cana (Figura 18), ajustando seu grau Brix para 17. Depois do caldo diluído misturou-se a diluição com o pé-de-cuba (Figura 19), que é a porção de volume da dorna que contém os microorganismos fermentadores ativados, para iniciar a fermentação do produto.



Figura 18 – Sistema de decantação e diluição do caldo para ajuste do teor de açúcar.



Figura 19 – Caldo diluído misturado ao pé-de-cuba em processo de fermentação.

A unidade de produção possui capacidade instalada de fermentação de 2.400 L de caldo diluído, porém, somente 1.200 L de caldo foram fermentados diariamente, devido à capacidade do alambique, de somente 600 L, permitindo assim, a produção em duas bateladas diárias.

O processo de fermentação do caldo foi realizado em uma sala azulejada e arejada e em dornas construídas em aço inox 304, o que garante maior controle do processo (Figura 20).



Figura 20 – Sala de fermentação mostrando as dornas em aço inox.

2.5. Destilação – produção de aguardente

Quando grande parte do açúcar presente no caldo foi convertido em álcool, o mosto (caldo já fermentado) foi levado para ser destilado em alambique de cobre com capacidade estática de 600 L por batelada (Figura 21).

O processo de destilação consiste em separar dois compostos solúveis, como o álcool e água. Sabendo-se que o mosto é uma mistura contendo de 10 a 14% de álcool, água, produtos orgânicos e sais minerais, a destilação é utilizada para separar e purificar o álcool presente no mosto dos outros compostos.

De modo geral, no processo de destilação de cachaça, distinguem-se três porções, vulgarmente conhecidas como destilado de cabeça, destilado de coração e destilado de cauda. A cabeça é formada pela primeira fração do

destilado, com graduação alcoólica de 75 a 60 °GL e é formada, principalmente, por compostos voláteis, como o aldeído acético e o acetato de etila, com ponto de ebulição inferior ao do álcool etílico (TRENTO FILHO 2008).



Figura 21 – Alambique de cobre utilizado para a destilação da aguardente.

O coração representa a fração alcoólica que sai do alambique logo depois da retirada da fração alcoólica de cabeça, com graduação alcoólica de 40 a 60 °GL e é formada por um conjunto de componentes que conferem o sabor característico da bebida. É a porção que apresenta a maior quantidade de álcool etílico e a menor proporção de componentes secundários (impurezas, componentes não alcoólicos). Já a cauda é formada por compostos voláteis,

como o furfural e o lactato de etila, e é imprópria para o consumo, além de possuir graduação alcoólica abaixo da recomendada (TRENTO FILHO 2008).

Como a unidade de produção do sítio KR só produz cachaça de alta qualidade, a separação das frações do destilado é de suma importância. Considerando-se a produção diária da unidade, tem-se, em cada batelada, a produção de 8 L de destilado de cabeça, 110 L de cachaça de coração e 25 L de destilado cauda, em média. E, durante o dia eram realizadas duas bateladas de produção de aguardente.

Como foi introduzida a produção de álcool, integrada à produção de cachaça, os resíduos (cabeça e cauda) foram re-destilados de forma a atingirem características físico-químicas próximas às do álcool combustível definido pela ANP. Sabendo-se que a graduação média do resíduo foi de 25 °GL, cada 100 L deste resíduo, permitiu a produção equivalente de 24 L de álcool 96 °GL, porém, como foi recolhido destilado até 83 GL como álcool combustível, a produção por 100 L foi maior.

Na produção de aguardente foram analisados apenas o volume produzido e o teor alcoólico médio do produto a ser comercializado.

2.6. Destilação – álcool combustível

O álcool combustível foi produzido em uma coluna com dupla aptidão – aguardente ou álcool combustível, com capacidade estática de 400 L, construída

em aço inoxidável, cuja análise técnica foi demonstrada no capítulo anterior (Figura 22).

Durante o processo foi analisado o consumo de energia, o rendimento do equipamento, bem como o teor alcoólico do material destilado.



Figura 22 – Coluna com múltipla função e com capacidade estática de 400 L.

Para a análise econômica do sistema foi analisado o volume de álcool produzido a cada batelada e o teor alcoólico deste.

Além do álcool como combustível para veículos automotores, este também poderá ser utilizado como fonte de aquecimento e para desinfecção de equipamentos e instalações na propriedade.

2.7. Produção de leite

A produção de leite, como parte da produção integrada, foi analisada com o confinamento de 5 animais com genética similar às empregadas pela pequena agricultura no país, com média de 5 litros/dia de leite (Figura 23).



Figura 23 – Confinamento das vacas leiteiras durante a safra da cana-de-açúcar.

Foi fornecida aos animais, alimentação à base de ponta de cana em associação com uréia e sulfato de amônia a 0,5%, com média de 40 kg/animal/dia além de diferentes proporções de concentrado com 22% de Proteína Bruta,

composto por 70 kg de farelo de milho e 30 kg de farelo de soja, associado com sal mineral, de modo a garantir a melhor relação custo-benefício para a atividade (Figura 24).



Figura 24 – Fornecimento de ponta de cana picada em associação com uréia e sulfato de amônio.

A ordenha dos animais foi realizada de forma manual com “bezerro ao pé” (Figura 25). A produção diária foi analisada com a pesagem do leite e o concentrado fornecido separadamente para cada animal, obedecendo as relações de 1 kg de concentrado para cada 4 kg de leite produzido (1:4); 1:3,5; 1:3; 1:2,5, além da análise inicial de produção com o fornecimento mínimo de concentrado associado à mistura de cana e uréia. Cada proporção foi analisada durante 14 dias, sendo 7 dias de período de adaptação dos animais e os outros 7 dias o período de tomada de dados de produção de leite. Devido à precariedade da

propriedade e o número pequeno de animais, como testemunha, foi considerada a produtividade média dos animais alimentados à pasto na safra anterior.



Figura 25 – Ordenha manual com bezerro ao pé.

Outro ponto relevante foi o fato de se usar animais com genética inferior, o que poderia ser solucionado com a aquisição de animais com característica leiteira, porém, como a propriedade disponível para a execução do trabalho não tinha estrutura mínima para garantir a higiene no processo, o investimento foi feito na construção de um estábulo simples, com piso de cimento e um sistema de captação de água limpa para a higienização dos animais na hora da ordenha e do piso durante o experimento.

2.8. Análise econômica do sistema integrado

Para a análise econômica do sistema integrado de produção de álcool combustível foi realizado um fluxo de caixa, calculando-se todas as despesas e receitas do empreendimento, incluindo aquelas com aguardente, álcool e produção de leite, conforme a Equação 7.

$$S_t = R_t - D_t \quad \text{Eq. 7}$$

em que

S_t = Fluxo de caixa no período t (R\$);

R_t = Receitas no período t (R\$);

D_t = Despesas no período t (R\$).

Depois da elaboração do fluxo de caixa, foi realizada a avaliação econômica do empreendimento com as medidas de rentabilidade e liquidez descritas a seguir.

2.8.1. Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido (VPL) é o somatório do valor presente das parcelas periódicas do fluxo de caixa gerado ao longo da vida útil do empreendimento, conforme a Equação 8.

$$VPL(r) = \sum_0^T \frac{S_t}{(1+r)^t} \quad \text{Eq. 8}$$

em que

T = Vida útil do investimento (ano);

r = Taxa de juros do mercado (-);

t = Período dentro da vida útil do investimento (ano).

Sendo o VPL do investimento positivo, ou seja, $VPL > 0$, o investimento é economicamente viável. Sendo mais atrativo o investimento que apresentar maior VPL.

2.8.2. Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é o percentual de retorno obtido sobre o saldo investido e ainda não recuperado em um projeto de investimento. Matematicamente, a TIR é a taxa de juros que torna o valor presente das entradas de caixa igual ao valor presente das saídas de caixa do projeto de investimento. A TIR pode ser determinada conforme a Equação 9.

$$\sum_0^T \frac{S_t}{(1+r)^t} = 0 \quad \text{Eq. 9}$$

Para um investimento ser economicamente atrativo, sua TIR deve ser maior que a taxa mínima de atratividade do capital, ou seja, maior do que o custo de oportunidade do capital (taxa de juros do mercado).

2.8.3. Relação Benefício/Custo (RBC)

É o somatório do fluxo descontado de entrada dividido pelo somatório do fluxo descontado de saída. A RBC é um índice que mostra o retorno total do capital e dos custos de operação ao longo da vida útil do investimento, conforme a Equação 10.

$$RBC = \frac{\sum_{t=0}^T \left[\frac{R_t}{(1+r)^t} \right]}{\sum_{t=0}^T \left[\frac{D_t}{(1+r)^t} \right]} \quad \text{Eq. 10}$$

em que:

R_t - Receitas no período t, R\$;

D_t - Despesas no período t, R\$.

Para que um investimento seja economicamente viável, sua Relação Benefício/Custo deve ser maior que a unidade ($RBC > 1$).

2.8.4. Tempo de Retorno do Capital Descontado (TRCd)

É o período de tempo necessário para que o capital investido seja integralmente recuperado, matematicamente é o período de tempo que torna o somatório do fluxo de caixa descontado do investimento igual a zero.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Produtividade do canavial

A produtividade do canavial foi determinada com a contagem do número de colmos em 10 m de linha e a pesagem de 10 colmos. Esta análise foi realizada tanto para os colmos como para a ponta da cana. Os valores obtidos podem ser vistos na Tabela 7.

Tabela 7 – Análise de produtividade do canavial.

Linhas	Colmo			Ponta		
	Nº de plantas em 10 m	Massa de 10 colmos (kg)	Produtividade (t ha ⁻¹)	Nº de plantas em 10 m	Massa de 10 pontas (kg)	Produtividade (t ha ⁻¹)
1	49	18,2	89,18	49	2,1	10,29
2	65	13,2	85,80	65	1,8	11,70
3	52	20,5	106,60	52	2,2	11,44
4	55	22,9	125,95	55	2,4	13,20
5	48	16,1	77,28	48	1,9	9,12
6	67	13,2	88,44	67	2,3	15,41
7	52	11,5	59,80	52	2,3	11,96
8	57	14,8	84,36	57	2,7	15,39
9	56	15,9	89,04	56	1,9	10,64
Média	55,67±11,3	16,26±6,6	89,60±36,3	55,67±11,3	1,96±0,7	12,13±3,2

Considerando-se que o canavial tem apenas 3 anos e que Mendes (2006) cita que a produtividade média de um canavial nesta idade na zona da mata é de 110 ton ha⁻¹, com adubação e calagem adequadas, a produtividade está muito abaixo do recomendado. Outro ponto relevante é a heterogeneidade de

produtividade nas linhas, o que também configura que o canavial não apresenta boas condições técnicas. Isto se deve ao fato da adubação feita no ano anterior ter sido abaixo da recomendada, ao regime de chuvas precário durante a safra 2007/2008 e ao manejo do canavial durante a colheita, cujo corte foi feito à altura inadequada, reduzindo sua produtividade.

Além da produtividade de colmo, outro importante parâmetro é a produtividade de caldo por tonelada de cana. Considerando-se que, com produtividade média de $89,6 \text{ ton ha}^{-1}$, os 2,8 hectares de cana produziram um total de 250,88 ton de cana. Dessa forma, como a produção de caldo de cana diária foi de 1200 L e que a safra durou 53 dias, o rendimento da cana foi de $253,50 \text{ L ton}^{-1}$. Considerando-se os valores médios de rendimento de caldo é de 500 L ton^{-1} , o valor está muito baixo (TRENTO FILHO, 2008). Porém rendimento de até $297,62 \text{ L ton}^{-1}$, foram observados pelo mesmo autor.

Com base nesses valores, recomenda-se a colheita adequada, com adubação correta ou replantio do canavial, para garantir maior produtividade.

3.2. Produção de aguardente

A produção de aguardente foi concomitante à colheita tendo duração de 63 dias. Durante este período, a aguardente foi destilada de segunda a sábado com duas bateladas, totalizando 220 L de cachaça por dia. Desta forma, a produção de aguardente ocorreu efetivamente por 53 dias nesse período.

A produção total de aguardente na safra 2007/2008, para o sítio KR, foi de 11.660 L de aguardente de coração, com teor alcoólico médio de 49 °GL, cujo valor de mercado é estimado em R\$ 6,00/litro. Este valor foi definido para o mercado de Viçosa, considerando produtos de qualidade semelhante e com o mesmo tempo de vida no mercado.

Vale a pena ressaltar que aguardentes de qualidade inferior (sem registro) correspondem à grande parte do consumo do produto e que seu preço de venda está próximo a R\$ 1,30/litro. Desta forma, o mercado de aguardente é altamente limitado para a venda de grandes volumes de um produto de alta qualidade.

3.3. *Produção de álcool*

A produção de álcool foi feita a partir da utilização dos resíduos da produção de aguardente, destilado de cabeça e de cauda. A fração de cabeça separada na destilação de aguardente foi de, aproximadamente, 5%, totalizando 8 litros a cada batelada. Já a cauda corresponde aos 20% finais da destilação, totalizando 25 litros a cada batelada.

Considerando-se que o teor alcoólico médio da mistura (cabeça e cauda) foi de 25 °GL e que produziu-se 4.028 litros deste resíduo durante a safra 2007/2008, a capacidade de produção da unidade em estudo é de, aproximadamente, 1.000 litros de álcool a 92,6 °GL. Os valores foram obtidos com base na produção diária de resíduo, no teor alcoólico médio deste e na

duração da safra. Para efeito de análise econômica, considera-se que o preço por litro de álcool, no mercado de Viçosa é de R\$ 1,65.

3.4. *Produção de leite*

A produtividade, em leite, dos animais confinados foi analisado com o fornecimento de ponta de cana mais uréia a vontade, mais concentrado protéico em diferentes proporções relativas à produção de leite do animal. Os dados obtidos podem ser vistos na Tabela 8.

Tabela 8 – Consumo de concentrado (ração) em cada proporção e produtividade do leite dos animais confinados

Animais	Testemunha (kg de leite)	Proporção de concentrado (kg de concentrado:kg de leite produzido)									
		Mínimo		1:4		1:3,5		1:3		1:2,5	
		Ração (kg)	Leite (kg)	Ração (kg)	Leite (kg)	Ração (kg)	Leite (kg)	Ração (kg)	Leite (kg)	Ração (kg)	Leite (kg)
1	3,00	0,5	4,07	1,02	5,21	1,49	5,93	1,98	6,50	2,60	6,36
2	5,00	0,5	6,93	1,73	7,64	2,18	7,43	2,48	7,50	3,00	7,57
3	5,00	0,5	7,00	1,75	7,86	2,24	8,00	2,67	8,64	3,46	9,00
4	5,00	0,5	6,43	1,61	6,36	1,82	6,57	2,19	6,43	2,57	6,71
5	8,00	0,5	8,93	2,23	10,43	2,98	10,79	2,85	9,79	3,91	10,00
média	5,2	0,5	6,67	1,67	7,50	2,14	7,74	2,43	7,72	3,11	7,93

Considerando-se que o custo da ração foi de R\$ 0,65 e que o valor de venda do leite na época foi de R\$ 0,70, os custos com a compra da ração e o lucro com a venda do leite, bem como o lucro líquido de cada tratamento pode ser observado na Figura 26.

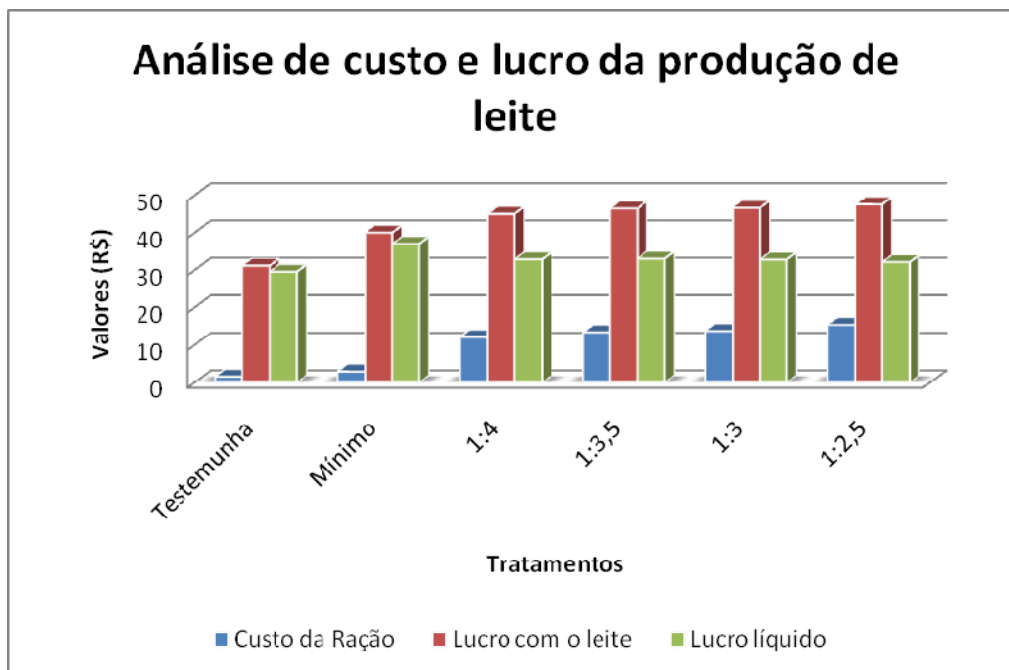


Figura 26 – Análise de custo e lucro da produção de leite, para diferentes proporções de concentrado.

Percebe-se que o tratamento “mínimo” (fornecimento de 0,5 kg de concentrado por animal por dia) foi o que garantiu maior lucro líquido para a atividade, sendo tal valor a ser considerado para a análise econômica do sistema integrado. Este comportamento pode ser explicado pela genética dos animais confinados, que não define característica de resposta à suplementação proteica à produção de leite. Vale a pena ressaltar, que como o trabalho ateu-se à produção de leite, não foi analisado o peso dos animais antes e depois do tratamento, porém o ganho de peso destes foi visível, o que pode indicar que a atividade de confinamento para gado de corte pode apresentar resultados mais satisfatórios.

Para efeito de análise econômica, foi considerado o confinamento de tantos animais quanto foram suficientes para absorver a massa de ponta de cana disponível no canavial. Como a produtividade de ponta foi de $12,13 \text{ ton ha}^{-1}$ e a área total de, $2,8 \text{ ha}$, ao longo dos 53 dias estavam disponíveis 640 kg de ponta. Como cada animal confinado consumiu 40 kg dia^{-1} de ponta, essa quantidade é suficiente para o confinamento de 16 animais.

Dessa forma, a produção de leite possível nos termos da disponibilidade de alimento, considerando-se uma produtividade média de $6,67 \text{ litros animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ é de $106,72 \text{ litros dia}^{-1}$, o que garante, ao longo da safra a produção de 5656 litros .

3.5. Análise econômica

Para a análise econômica do sistema determinou-se um horizonte de investimento de 10 anos, que é o tempo previsto de vida útil dos equipamentos. As saídas deste empreendimento podem ser observadas nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9– Saídas do investimento até o 5º ano

Saídas	Ud	Valor (R\$)	Ano 0		Ano 1		Ano 2		Ano 3		Ano 4	
			Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)
OPERAÇÕES NO CANAVIAL												
Aração do terreno	H/M	50,00	12	600,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Gradagem	H/M	50,00	6	300,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Sulcagem	H/M	50,00	6	300,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Dist. adubo e calcário	D/H	25,00	6	150,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Dist.colmos, corte e recob.	D/H	25,00	24	600,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Aplicação de herbicida	D/H	25,00	6	150,00	6	150,00	6	150,00	6	150,00	6	150,00
Aplicação de formicida	D/H	25,00	3	75,00	3	75,00	3	75,00	3	75,00	3	75,00
Adubação de cobertura	D/H	25,00	3	75,00	3	75,00	3	75,00	3	75,00	3	75,00
Corte da cana	D/H	25,00	90	2.250,00	90	2.250,00	90	2.250,00	90	2.250,00	90	2.250,00
Transporte da cana	D/H	25,00	30	750,00	30	750,00	30	750,00	30	750,00	30	750,00
SUBTOTAL				5.250,00		3.300,00		3.300,00		3.300,00		3.300,00
INSUMOS PARA O CANAVIAL												
Aquisição de mudas	t	100,00	45	4.500,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Calcário	t	70,00	6	420,00	0	-	0	-	0	-	0	-
4-14-8	kg	1,10	1.350	1.485,00	1.350	1.485,00	1.350	1.485,00	1.350	1.485,00	1.350	1.485,00
Herbicida	litro	23,20	15	348,00	15	348,00	15	348,00	15	348,00	15	348,00
Formicida	kg	7,80	30	234,00	30	234,00	30	234,00	30	234,00	30	234,00
Aluguel da terra	R\$/ha	300,00	3	900,00	3	900,00	3	900,00	3	900,00	3	900,00
SUBTOTAL				7.887,00		2.967,00		2.967,00		2.967,00		2.967,00
PRODUÇÃO DE AGUARDENTE												
Galpão	ud	30.000,00	1	30.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Engenho	ud	25.000,00	1	25.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Decantador e dornas	ud	10.000,00	1	10.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Alambique	ud	10.000,00	1	10.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Tonel de carvalho	ud	600,00	30	18.000,00	30	18.000,00	30	18.000,00	0	-	0	-
Tanques de inox de 3.000 L	ud	2.000,00	2	4.000,00	2	4.000,00	0	-	0	-	0	-
Manutenção dos equipamentos	ud	7.760,00	0	-	1	862,22	1	862,22	1	862,22	1	862,22
Energia	R\$/ha	142,00	3	426,00	3	426,00	3	426,00	3	426,00	3	426,00
Mão-de-obra	R\$/ha	750,00	3	2.250,00	3	2.250,00	3	2.250,00	3	2.250,00	3	2.250,00
Mão-de-obra administrativa	R\$/ha	200,00	3	600,00	3	600,00	3	600,00	3	600,00	3	600,00
SUBTOTAL				100.276,00		26.138,22		22.138,22		4.138,22		4.138,22

Tabela 9 – Saídas do investimento até o 5º ano - Continuação

Saídas	Ud	Valor (R\$)	Ano 0		Ano 1		Ano 2		Ano 3		Ano 4	
			Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)
PRODUÇÃO DE LEITE												
Curral para confinamento	ud	4.000,00	1	4.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Picadeira para capim	ud	1.000,00	1	1.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Animais para confinar	ud	1.200,00	5	6.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Uréia	kg	1,38	75	103,50	75	103,50	75	103,50	75	103,50	75	103,50
Concentrado	kg	0,65	150	97,50	150	97,50	150	97,50	150	97,50	150	97,50
Mão-de-obra	H/d	25,00	30	750,00	30	750,00	30	750,00	30	750,00	30	750,00
SUBTOTAL				11.951,00		951,00		951,00		951,00		951,00
PRODUÇÃO DE ALCÓOL												
Coluna de destilação	ud	15.000,00	1	15.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Tambores para armazenamento	ud	25,00	1	25,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Mão-de-obra	H/d	25,00	30	750,00	30	750,00	30	750,00	30	750,00	30	750,00
SUBTOTAL				15.775,00		750,00		750,00		750,00		750,00
TOTAL				141.139,00		34.106,22		34.106,22		12.106,22		12.106,22

Tabela 10– Saídas do investimento do 6° ao 10° ano

Saídas	Ud	Valor (R\$)	Ano 5		Ano 6		Ano 7		Ano 8		Ano 9	
			Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)
OPERAÇÕES NO CANAVIAL												
Aração do terreno	H/M	50,00	12	600,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Gradagem	H/M	50,00	6	300,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Sulcagem	H/M	50,00	6	300,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Dist. adubo e calcário	D/H	25,00	6	150,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Dist.colmos, corte e recob.	D/H	25,00	24	600,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Aplicação de herbicida	D/H	25,00	6	150,00	6	150,00	6	150,00	6	150,00	6	150,00
Aplicação de formicida	D/H	25,00	3	75,00	3	75,00	3	75,00	3	75,00	3	75,00
Adubação de cobertura	D/H	25,00	3	75,00	3	75,00	3	75,00	3	75,00	3	75,00
Corte da cana	D/H	25,00	90	2.250,00	90	2.250,00	90	2.250,00	90	2.250,00	90	2.250,00
Transporte da cana	D/H	25,00	30	750,00	30	750,00	30	750,00	30	750,00	30	750,00
SUBTOTAL				5.250,00		3.300,00		3.300,00		3.300,00		3.300,00
INSUMOS PARA O CANAVIAL												
Aquisição de mudas	t	100,00	45	4.500,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Calcário	t	70,00	6	420,00	0	-	0	-	0	-	0	-
4:14:8	kg	1,10	1.350	1.485,00	1.350	1.485,00	1.350	1.485,00	1.350	1.485,00	1.350	1.485,00
Herbicida	litro	23,20	15	348,00	15	348,00	15	348,00	15	348,00	15	348,00
Formicida	kg	7,80	30	234,00	30	234,00	30	234,00	30	234,00	30	234,00
Aluguel da terra	R\$/ha	300,00	3	900,00	3	900,00	3	900,00	3	900,00	3	900,00
SUBTOTAL				7.887,00		2.967,00		2.967,00		2.967,00		2.967,00
PRODUÇÃO DE AGUARDENTE												
Galpão	ud	30.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Engenho	ud	25.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Decantador e dornas	ud	10.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Alambique	ud	10.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Tonel de carvalho	ud	600,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Tanques de aço inox de 3.000 L	ud	2.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Manutenção dos equipamentos	ud	7.760,00	1	862,22	1	862,22	1	862,22	1	862,22	1	862,22
Energia	R\$/ha	142,00	3	426,00	3	426,00	3	426,00	3	426,00	3	426,00
Mão-de-obra	R\$/ha	750,00	3	2.250,00	3	2.250,00	3	2.250,00	3	2.250,00	3	2.250,00
Mão-de-obra administrativa	R\$/ha	200,00	3	600,00	3	600,00	3	600,00	3	600,00	3	600,00
SUBTOTAL				4.138,22		4.138,22		4.138,22		4.138,22		4.138,22

Tabela 10 – Saídas do investimento do 6º ao 10º ano – Continuação

Saídas	Ud	Valor (R\$)	Ano 5		Ano 6		Ano 7		Ano 8		Ano 9	
			Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)
PRODUÇÃO DE LEITE												
Curral para confinamento	ud	4.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Picadeira para capim	ud	1.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Animais para confinar	ud	1.200,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Uréia	kg	1,38	75	103,50	75	103,50	75	103,50	75	103,50	75	103,50
Concentrado	kg	0,65	150	97,50	150	97,50	150	97,50	150	97,50	150	97,50
Mão-de-obra	H/d	25,00	30	750,00	30	750,00	30	750,00	30	750,00	30	750,00
SUBTOTAL				951,00		951,00		951,00		951,00		951,00
PRODUÇÃO DE ALCOOL												
Coluna de destilação	ud	15.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Tambores para armazenamento	ud	25,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Mão-de-obra	H/d	25,00	30	750,00	30	750,00	30	750,00	30	750,00	30	750,00
SUBTOTAL				750,00		750,00		750,00		750,00		750,00
TOTAL				18.976,22		12.106,22		12.106,22		12.106,22		12.106,22

A partir dos dados apresentados nas Tabelas 9 e 10 pode-se observar que os maiores custos ocorrem no ano 0, o que pode ser explicado pela aquisição dos equipamentos e pela construção das obras civis integrantes do sistema.

Na Figura 27 pode-se observar a composição dos custos de acordo com cada atividade.

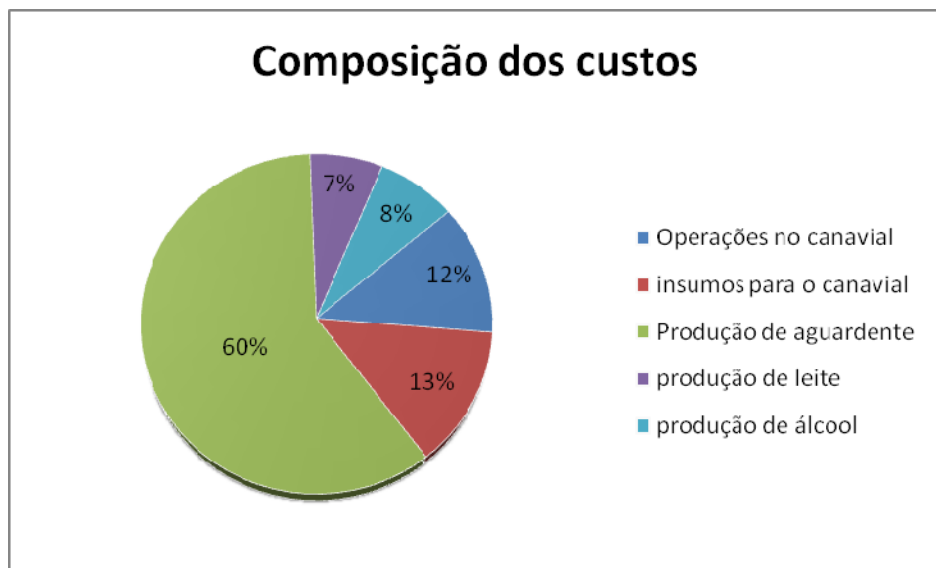


Figura 27 – Composição dos custos da atividade integrada.

Na Figura 27 pode-se observar que a produção de aguardente é a etapa que mais contribui com os custos da atividade integrada, seguido pelos insumos para o canavial. Como esperado, considerando que a produção de álcool e de leite são atividades complementares, elas são as atividades que menos contribuem com os custos da atividade. Estes valores evidenciam a vantagem econômica da integração da produção, haja visto que as modificações necessárias são pequenas.

Na Tabela 11 são apresentadas as entradas por atividade e por período.

Tabela 11– Receita com as atividades integradas do 1° ao 10° ano.

Ano	Cachaça			Álcool			Leite			Total
	Valor unit. (R\$/L)	Quant. (L)	Valor (R\$)	Valor unit. (R\$/L)	Quant. (L)	Valor (R\$)	Valor unit. (R\$/L)	Quant. (L)	Valor (R\$)	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1	6,00	11660	69.960,00	1,65	1100	1815	0,70	5656,00	3.959,20	75.734,20
2	6,00	11660	69.960,00	1,65	1100	1815	0,70	5656,00	3.959,20	75.734,20
3	6,00	11660	69.960,00	1,65	1100	1815	0,70	5656,00	3.959,20	75.734,20
4	6,00	11660	69.960,00	1,65	1100	1815	0,70	5656,00	3.959,20	75.734,20
5	6,00	11660	69.960,00	1,65	1100	1815	0,70	5656,00	3.959,20	75.734,20
6	6,00	11660	69.960,00	1,65	1100	1815	0,70	5656,00	3.959,20	75.734,20
7	6,00	11660	69.960,00	1,65	1100	1815	0,70	5656,00	3.959,20	75.734,20
8	6,00	11660	69.960,00	1,65	1100	1815	0,70	5656,00	3.959,20	75.734,20
9	6,00	11660	69.960,00	1,65	1100	1815	0,70	5656,00	3.959,20	75.734,20
Total			629.640,00			16.335,00			35.632,80	

Na Tabela 11 podemos observar que no ano 0 não há receitas, haja vista que neste ano considera-se apenas a instalação do empreendimento, não sendo obtida produção neste período. Assim, na Tabela 12 é apresentado o fluxo de caixa da atividade. Para a confecção deste fluxo de caixa foi considerada uma taxa de juros de mercado de 12% ao ano.

Tabela 12 – Fluxo de caixa, em R\$, simples e descontado para a atividade integrada.

Anos	Entradas	Saídas	Fluxo	Fluxo descontado	Fluxo acumulado	F. acum. Desc
0	0,00	141.139,00	-141.139,00	-141.139,00	-141.139,00	-141.139,00
1	75.734,20	34.106,22	41.627,98	37.167,84	-99.511,02	-103.971,16
2	75.734,20	30.106,22	45.627,98	36.374,34	-53.883,04	-67.596,82
3	75.734,20	12.106,22	63.627,98	45.289,14	9.744,93	-22.307,68
4	75.734,20	12.106,22	63.627,98	40.436,73	73.372,91	18.129,05
5	75.734,20	18.976,22	56.757,98	32.206,00	130.130,89	50.335,05
6	75.734,20	12.106,22	63.627,98	32.235,91	193.758,87	82.570,96
7	75.734,20	12.106,22	63.627,98	28.782,07	257.386,84	111.353,03
8	75.734,20	12.106,22	63.627,98	25.698,27	321.014,82	137.051,30
9	75.734,20	12.106,22	63.627,98	22.944,89	384.642,80	159.996,19
Soma	681.607,80	296.965,00	384.642,80	159.996,19	1.075.519,00	224.420,93

Com base na Tabela 12, foram determinados os parâmetros de análise econômica de projetos, como se segue:

VPL (R\$)	=	159.996,19
TIR (%)	=	35%
TRC (anos)	=	4 anos
RBC	=	2,30

Verifica-se que, para a produção anual de 11660 litros de aguardente e de 1.100 litros de álcool, o projeto é economicamente viável, apresentando VPL positivo, TIR maior que a taxa de juros do mercado e $RBC > 1$.

Porém, com a baixa produtividade do canavial, a produção tende a cair, ainda mais prejudicando a atividade no próximo ano.

Outro ponto a ser comentado é o fato da grande ociosidade do sistema. Sabendo-se que a unidade funciona apenas 53 dias po ano, a produção por safra

é bem aquém da capacidade do sistema. De acordo com Silva (2007), a unidade deve funcionar, em média, 200 dias por ano, para garantir rendimento satisfatório à atividade.

Vale a pena destacar também que o mercado da cachaça de qualidade passa por momentos difíceis e que uma adequação na proporção de produção de cachaça e de álcool pode ser realizada de modo a garantir rentabilidade na produção. Além do fator de mercado, a cachaça é um produto com baixa elasticidade-renda, ou seja, o produto não é consumido em grande escala, o que aumenta a dificuldade de venda de grandes quantidades. A Tabela 13 mostra o fluxo de caixa para um segundo cenário, onde apresenta-se a menor relação possível de produção de aguardente e álcool para garantir rentabilidade. Tal cenário foi o da produção de 7.500 litros de aguardente por safra e de 3.680 litros de álcool combustível, nas mesmas condições avaliadas anteriormente.

Tabela 13 – Fluxo de caixa para a produção mínima de aguardente

Anos	Entradas	Saídas	Fluxo	Fluxo descontado	Fluxo acumulado	F. acum. Desc
0	0,00	141.139,00	-141.139,00	-141.139,00	-141.139,00	-141.139,00
1	55.031,20	34.106,22	20.924,98	18.683,02	-120.214,02	-122.455,98
2	55.031,20	30.106,22	24.924,98	19.870,04	-95.289,04	-102.585,94
3	55.031,20	12.106,22	42.924,98	30.553,15	-52.364,07	-72.032,79
4	55.031,20	12.106,22	42.924,98	27.279,60	-9.439,09	-44.753,19
5	55.031,20	18.976,22	36.054,98	20.458,56	26.615,89	-24.294,63
6	55.031,20	12.106,22	42.924,98	21.747,13	69.540,87	-2.547,50
7	55.031,20	12.106,22	42.924,98	19.417,08	112.465,84	16.869,58
8	55.031,20	12.106,22	42.924,98	17.336,68	155.390,82	34.206,26
9	55.031,20	12.106,22	42.924,98	15.479,18	198.315,80	49.685,43
Soma	495.280,80	296.965,00	198.315,80	49.685,43	143.884,00	-409.047,78

Com base nestes dados, os parâmetros de análise de empreendimentos atingiu os seguintes valores:

VPL (R\$)	=	49.685,43
TIR (%)	=	20%
TRC (anos)	=	6 anos
RBC	=	1,67

Esses dados confirmam que esta é a combinação mínima de produção de aguardente e máxima de produção de etanol que confere rentabilidade ao empreendimento.

Por fim, analisou-se, economicamente, o cenário da produção somente de álcool combustível e leite, com produção de 600 L dia⁻¹ de álcool durante 200 dias de safra. Para tal, considerou-se rendimento médio do canavial em álcool igual a 70 L ton⁻¹ de cana e rendimento médio do canavial de 110 ton ha⁻¹, ao longo de 5 cortes. Com esses parâmetros, que, segundo Silva (2007) são números aceitáveis para a produção de álcool, necessita-se de 26 ha de cana para garantir matéria-prima, que devem ser plantados segundo a Tabela 14, para garantir a produção diária ao longo de todos os anos, considerando-se que a produtividade do canavial é variável em cada corte.

Tabela 14 – Cronograma de plantio para garantir a produção diária de 600 L.

Etapas	Produção esperada	Anos									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Plantio (ha)		12	1	1	2	1	1,5	7,5	2	1	1
1 corte	140		12	1	1	2	1	1,5	7,5	2	1
2 corte	130			12	1	1	2	1	1,5	7,5	2
3 corte	120				12	1	1	2	1	1,5	7,5
4 corte	100					12	1	1	2	1	1,5
5 corte	90						12	1	1	1	1
6 corte	80							12	1	1	2
Ton. colhida			1680	1700	1710	1730	1700	1730	1735	1705	1700
Ton. plantio		180	15	15	30	15	22,5	112,5	30	15	15

Com base nos dados observados na Tabela 14, os custos de produção associados à essa atividade, estão apresentados nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15 – Saídas para a produção de álcool e leite até o 5º ano.

Saídas	Ud	Valor (R\$)	Ano 0		Ano 1		Ano 2		Ano 3		Ano 4	
			Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)
OPERAÇÕES NO CANAVIAL												
		50,00	48	2.400,00	4	200,00	4	200,00	8	400,00	4	200,00
Aração do terreno	H/M	50,00	24	1.200,00	2	100,00	2	100,00	4	200,00	2	100,00
Gradagem	H/M	50,00	24	1.200,00	2	100,00	2	100,00	4	200,00	2	100,00
Sulcagem	H/M	25,00	24	600,00	2	50,00	2	50,00	4	100,00	2	50,00
Dist. adubo e calcário	D/H	25,00	96	2.400,00	8	200,00	8	200,00	16	400,00	8	200,00
Dist.colmos, corte e recob.	D/H	25,00	24	600,00	26	650,00	28	700,00	32	800,00	34	850,00
Aplicação de herbicida	D/H	25,00	12	300,00	13	325,00	14	350,00	16	400,00	17	425,00
Aplicação de formicida	D/H	25,00	12	300,00	13	325,00	14	350,00	16	400,00	17	425,00
Adubação de cobertura	D/H	25,00	0	-	240	6.000,00	260	6.500,00	280	7.000,00	320	8.000,00
Corte da cana	D/H	25,00	0	-	120	3.000,00	130	3.250,00	140	3.500,00	160	4.000,00
Transporte da cana	D/H	50,00	48	2.400,00	4	200,00	4	200,00	8	400,00	4	200,00
SUBTOTAL				9.000,00		10.950,00		11.800,00		13.400,00		14.350,00
INSUMOS PARA O CANAVIAL												
Aquisição de mudas	t	100,00	180	18.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Calcário	t	70,00	24	1.680,00	2	140,00	2	140,00	4	280,00	2	140,00
Uréia	kg	1,38	3.000	4.140,00	2.410	3.325,80	2.590	3.574,20	3.020	4.167,60	3.130	4.319,40
Superfosfato simples	kg	1,06	9.360	9.921,60	2.100	2.226,00	2.210	2.342,60	3.100	3.286,00	2.540	2.692,40
Cloreto de potássio	kg	2,40	5.880	14.112,00	3.730	8.952,00	4.000	9.600,00	4.760	11.424,00	4.810	11.544,00
Herbicida	litro	23,20	60	1.392,00	65	1.508,00	70	1.624,00	80	1.856,00	85	1.972,00
Formicida	kg	7,80	120	936,00	130	1.014,00	140	1.092,00	160	1.248,00	170	1.326,00
Aluguel da terra	R\$/ha	300,00	12	3.600,00	13	3.900,00	14	4.200,00	16	4.800,00	17	5.100,00
SUBTOTAL				53.781,60		21.065,80		22.572,80		27.061,60		27.093,80
PRODUÇÃO DE ÁLCOOL												
Galpão	ud	15.000,00	1	15.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Engenho	ud	20.000,00	1	20.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Decantador e dornas	ud	10.000,00	1	10.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Tanques de inox de 3.000 L	ud	2.000,00	2	4.000,00	2	4.000,00	0	-	0	-	0	-
Energia	R\$/ha	142,00	12	1.704,00	13	1.846,00	14	1.988,00	16	2.272,00	17	2.414,00
Mão-de-obra	R\$/ha	25,00	400	10.000,00	400	10.000,00	400	10.000,00	400	10.000,00	400	10.000,00
Mão-de-obra administrativa	R\$/ha	600,00	12	7.200,00	12	7.200,00	12	7.200,00	12	7.200,00	12	7.200,00
Coluna de destilação	ud	15.000,00	1	15.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Tambores para armazenamento	ud	25,00	30	750,00	0	-	0	-	0	-	0	-
SUBTOTAL				83.654,00		23.046,00		19.188,00		19.472,00		19.614,00

Tabela 16 – Saídas para a produção de álcool e leite até o 5º ano – Continuação

Saídas	Ud	Ano 0		Ano 1		Ano 2		Ano 3		Ano 4		
		Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	
PRODUÇÃO DE LEITE												
Curral para confinamento	ud	10.000,00	1	10.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Picadeira para capim	ud	1.000,00	1	1.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Animais para confinar	ud	1.500,00	21	31.500,00	0	-	0	-	0	-	0	-
Uréia	kg	1,38	315	434,70	315	434,70	315	434,70	315	434,70	315	434,70
Concentrado	kg	0,65	2.100	1.365,00	2.100	1.365,00	2.100	1.365,00	2.100	1.365,00	2.100	1.365,00
Mão-de-obra	H/d	25,00	100	2.500,00	100	2.500,00	100	2.500,00	100	2.500,00	100	2.500,00
		SUBTOTAL		46.799,70		4.299,70		4.299,70		4.299,70		4.299,70
		TOTAL		193.235,30		59.361,50		57.860,50		64.233,30		65.357,50

Tabela 17 – Saídas para a produção de álcool e leite do 5º ao 10º ano.

Saídas	Ud	Valor (R\$)	Ano 5		Ano 6		Ano 7		Ano 8		Ano 9	
			Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)
OPERAÇÕES NO CANAVIAL												
		50,00	6	300,00	30	1.500,00	8	400,00	4	200,00	4	200,00
Aração do terreno	H/M	50,00	3	150,00	15	750,00	4	200,00	2	100,00	2	100,00
Gradagem	H/M	50,00	3	150,00	15	750,00	4	200,00	2	100,00	2	100,00
Sulcagem	H/M	25,00	3	75,00	15	375,00	4	100,00	2	50,00	2	50,00
Dist. adubo e calcário	D/H	25,00	60	1.500,00	16	400,00	16	400,00	8	200,00	8	200,00
Dist.colmos, corte e recob.	D/H	25,00	37	925,00	52	1.300,00	32	800,00	30	750,00	32	800,00
Aplicação de herbicida	D/H	25,00	18,5	462,50	26	650,00	16	400,00	15	375,00	16	400,00
Aplicação de formicida	D/H	25,00	18,5	462,50	26	650,00	16	400,00	15	375,00	16	400,00
Adução de cobertura	D/H	25,00	340	8.500,00	370	9.250,00	280	7.000,00	280	7.000,00	300	7.500,00
Corte da cana	D/H	25,00	170	4.250,00	185	4.625,00	140	3.500,00	140	3.500,00	150	3.750,00
Transporte da cana	D/H	50,00	6	300,00	30	1.500,00	8	400,00	4	200,00	4	200,00
		SUBTOTAL		16.775,00		20.250,00		13.400,00		12.650,00		13.500,00
INSUMOS PARA O CANAVIAL												
Aquisição de mudas	t	100,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Calcário	t	70,00	3	210,00	15	1.050,00	4	280,00	2	140,00	2	140,00
Uréia	kg	1,38	3.435	4.740,30	5.205	7.182,90	3.020	4.167,60	2.770	3.822,60	2.950	4.071,00
Superfosfato simples	kg	1,06	3.040	3.222,40	7.885	8.358,10	3.020	3.201,20	2.770	2.936,20	2.950	3.127,00
Cloreto de potássio	kg	2,40	5.325	12.780,00	8.670	20.808,00	4.760	11.424,00	6.250	15.000,00	4.540	10.896,00
Herbicida	litro	23,20	92,5	2.146,00	130	3.016,00	80	1.856,00	75	1.740,00	80	1.856,00
Formicida	kg	7,80	185	1.443,00	260	2.028,00	160	1.248,00	150	1.170,00	160	1.248,00
Aluguel da terra	R\$/ha	300,00	18,5	5.550,00	26	7.800,00	16	4.800,00	15	4.500,00	16	4.800,00
		SUBTOTAL		30.091,70		50.243,00		26.976,80		29.308,80		26.138,00
PRODUÇÃO DE ALCOOL												
Galpão	ud	15.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Engenho	ud	20.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Decantador e dornas	ud	10.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Tanques de inox de 3.000 L	ud	2.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Energia	R\$/ha	142,00	18,5	2.627,00	26	3.692,00	16	2.272,00	15	2.130,00	16	2.272,00
Mão-de-obra	R\$/ha	25,00	400	10.000,00	400	10.000,00	400	10.000,00	400	10.000,00	400	10.000,00
Mão-de-obra administrativa	R\$/ha	600,00	12	7.200,00	12	7.200,00	12	7.200,00	12	7.200,00	12	7.200,00
Coluna de destilação	ud	15.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Tambores para armazenamento	ud	25,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
		SUBTOTAL		19.827,00		20.892,00		19.472,00		19.330,00		19.472,00

Tabela 18 – Saídas para a produção de álcool e leite do 5º ao 10º ano – Continuação

Saídas	Ud	Ano 5		Ano 6		Ano 7		Ano 8		Ano 9		
		Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	Quant.	
PRODUÇÃO DE LEITE												
Curral para confinamento	ud	10.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Picadeira para capim	ud	1.000,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Animais para confinar	ud	1.500,00	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Uréia	kg	1,38	315	434,70	315	434,70	315	434,70	315	434,70	315	434,70
Concentrado	kg	0,65	2.100	1.365,00	2.100	1.365,00	2.100	1.365,00	2.100	1.365,00	2.100	1.365,00
Mão-de-obra	H/d	25,00	100	2.500,00	100	2.500,00	100	2.500,00	100	2.500,00	100	2.500,00
		SUBTOTAL		4.299,70		4.299,70		4.299,70		4.299,70		4.299,70
		TOTAL		70.993,40		95.684,70		64.148,50		65.588,50		63.409,70

Nas tabela 17 são apresentadas as entradas para a produção de álcool e leite, considerando preço de venda do álcool de R\$ 0,90 e do leite de R\$ 0,70.

Tabela 19 – Entradas para a atividade de produção de álcool e leite

Anos	Álcool			Leite			Total
	Valor unit. (R\$/L)	Quant. (L)	Valor (R\$)	Valor unit. (R\$/L)	Quant.	Valor (R\$)	
0	-	-	-	-	-	-	-
1	0,90	117600	105840	0,70	33600,00	23.520,00	129.360,00
2	0,90	119000	107100	0,70	33600,00	23.520,00	130.620,00
3	0,90	119700	107730	0,70	33600,00	23.520,00	131.250,00
4	0,90	121100	108990	0,70	33600,00	23.520,00	132.510,00
5	0,90	119000	107100	0,70	33600,00	23.520,00	130.620,00
6	0,90	121100	108990	0,70	33600,00	23.520,00	132.510,00
7	0,90	121450	109305	0,70	33600,00	23.520,00	132.825,00
8	0,90	119350	107415	0,70	33600,00	23.520,00	130.935,00
9	0,90	119000	107100	0,70	33600,00	23.520,00	130.620,00
Subtotal			969.570,00			211.680,00	

Como pode ser observado na tabela acima, as entradas referentes à produção de álcool são variáveis ao longo dos anos, devido à sazonalidade da produção do canavial.

Na tabela 18 está apresentado o fluxo de caixa para a mesma atividade apresentada na tabela 17.

Tabela 20 – Fluxo de caixa para a produção de somente álcool combustível.

Anos	Entradas	Saídas	Fluxo	Fluxo descontado	Fluxo acumulado	F. acum. Desc
0	0,00	193.235,30	-193.235,30	-193.235,30	-193.235,30	-193.235,30
1	129.360,00	59.361,50	69.998,50	62.498,66	-123.236,80	-130.736,64
2	130.620,00	57.860,50	72.759,50	58.003,43	-50.477,30	-72.733,21
3	131.250,00	64.233,30	67.016,70	47.701,16	16.539,40	-25.032,05
4	132.510,00	65.357,50	67.152,50	42.676,63	83.691,90	17.644,58
5	130.620,00	70.993,40	59.626,60	33.833,73	143.318,50	51.478,31
6	132.510,00	95.684,70	36.825,30	18.656,84	180.143,80	70.135,16
7	132.825,00	64.148,50	68.676,50	31.065,76	248.820,30	101.200,92
8	130.935,00	65.588,50	65.346,50	26.392,36	314.166,80	127.593,27
9	130.620,00	63.409,70	67.210,30	24.236,71	381.377,10	151.829,98
Soma	1.181.250,00	799.872,90	381.377,10	151.829,98	1.001.108,40	98.145,02

Com base nos dados da Tabela 18, determinaram-se os parâmetros de análise de projeto como se segue:

VPL (R\$)	=	151.829,98
TIR (%)	=	31%
TRC (anos)	=	4 anos
RBC	=	1,48

Dessa forma, considerando a produção mínima aceitável citada por SILVA (2007) de 600 L dia⁻¹, só é viável, em associação com a produção de leite se o álcool for comercializado a R\$ 0,90/litro, haja visto o valor de VPL positivo, a TIR igual a taxa de mercado, o TRC menor que o horizonte e a RBC maior que 1.

Já se a produção de leite for desconsiderada, o valor mínimo de venda do álcool combustível deverá ser de R\$ 1,00/litro, garantindo VPL de R\$ 159.919,93, TIR de 33%, tempo de retorno de capital de 4 anos e RBC de 1,51.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANP. *Portaria nº 36 de 06/12/2005*. 2005.
[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2005/dezembro/r_anp%2036%2002005.xml?f=templates\\$fn=default.htm&sync=1&vid=anp:10.1048/enu](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2005/dezembro/r_anp%2036%2002005.xml?f=templates$fn=default.htm&sync=1&vid=anp:10.1048/enu) (acesso em 07 de Novembro de 2008).
2. CARDOSO, M.G., G.A. CAMPOS, R.A. SILVA, C.D. SANTOS, A.P.S. PINTO, e C.F. SILVA. *Cachaça: qualidade e produção*. Vol. VIII n 53. Lavras, MG: Boletim Técnico Série Extensão, 1999.
3. CHOFI, F.M., F.A. DUPAS, e E.E.S. LORA. “Balanço, análise de emissão e sequestro de CO₂ na geração de eletricidade excedente no setor sucroalcooleiro.” *AGRENER*. Campinas, SP, 2004.
4. CRISPIM, J. E., e S. A. VIEIRA. “Cana-de-açúcar: boa alternativa agrícola e energética para a agricultura nacional.” *Revista Agropecuária Catarinense* 2 (2001).
5. MAESTRI, R. SANQUETA, C.R., S.A. MACHADO, J.R.S. SCOLFORO, e A.P.D. CORTE. “Viabilidade de um projeto florestal de *Eucalyptus grandis* considerando o sequestro de carbono.” *Floresta*. Vol. 34 n 3. Curitiba, PR, 2004. 347-360.

6. MENDES, L.C. “Eficiência nutricional de cultivares de cana-de-açúcar.” Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa (Dissertação de mestrado), 2006.
7. MOTHER ALCOHOL FUEL SEMINAR. “Chapter 1 - Introduction to a Farmer's Fuel Alcohol.” *Mother Earth News*. Kansas, 1980.
8. RODRIGUES, R.C., e R.R. PEIXOTO. “Avaliação nutricional do bagaço da cana-de-açúcar de micro destilaria de álcool para ruminantes.” *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 1993: 212-221.
9. SILVA, M.A.; CAMPANA, M.P.; LANDELL, M.G.D.; ZIMBACK, L.; FIGUEIREDO, P.. Avaliação de clones de híbridos IAC de cana-de-açúcar, série 1985, na região de Jaú (SP). *Bragantia*, Campinas, v 58 n 2, 1999. p. 335-340.
10. SILVA, J.S. *Produção de álcool combustível na fazenda*. Viçosa, MG: Suprema Gráfica e Editora, 2007.
11. TRENTO FILHO, A. J.. *Produção de cana-de-açúcar e qualidade da cachaça em Morretes-PR*. Curitiba-PR. Universidade Federal do Paraná. (Dissertação de mestrado). 2008.

CONCLUSÕES GERAIS

Com base nos dados apresentados nos capítulos anteriores, pode-se concluir que:

- Para a coluna de destilação analisada neste trabalho, obteve-se menor desempenho operando com mosto (12 °GL) e maior desempenho operando com pré-destilado a 36 °GL, o que possivelmente será maior quando operada com matérias-primas de maior teor alcoólico;
- Em todos os testes obteve-se destilado dentro das especificações da ANP para o teor alcoólico do combustível, porém, como o álcool produzido foi destinado ao consumo interno e não à comercialização, o destilado médio obteve graduação inferior à exigida pelo órgão;
- A Altura Equivalente a um Prato Teórico encontra-se na faixa adequada aos seus parâmetros;
- A integração das atividades de produção de aguardente, leite e álcool combustível, é técnica e economicamente viável;
- Para as condições estudadas existe uma composição mínima de produção de álcool e aguardente que garante a viabilidade do projeto;
- Aumentando-se a eficiência de remoção de caldo pelo engenho, com apenas 6,4 ha, o projeto de produção única de álcool combustível torna-se economicamente viável.
- Com a implantação do sistema proposto prevê-se a melhoria da qualidade da aguardente comercializada por pequenos agricultores, pois a cabeça e a cauda não serão incorporados ao produto.

- O trabalho proposto possui grande importância social, contribuindo substancialmente para a diversificação da produção, o aumento da renda e a fixação do homem do campo, além da geração de empregos.