UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE
DE RIBEIRÃO PRETO
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO DE ORGANIZAÇÕES

ALEXEI JOSÉ ZARATINI

**Análise de viabilidade sócio-ambiental e econômica de alternativas de produção
energética de subprodutos do sistema sucroenergético para usinas da região de Ribeirão
Preto - SP**

Orientadora: Profª Drª Sonia Valle Walter Borges de
Oliveira

RIBEIRÃO PRETO

2013

Prof. Dr. João Grandino Rodas
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Sigismundo Bialoskorski Neto
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto

Prof^a. Dr^a. Sonia Valle Walter Borges Oliveira
Chefe do Departamento de Administração

ALEXEI JOSÉ ZARATINI

Análise de viabilidade sócio-ambiental e econômica de alternativas de produção energética de subprodutos do sistema sucroenergético para usinas da região de Ribeirão Preto - SP

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração de Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Sonia Valle Walter Borges de Oliveira

RIBEIRÃO PRETO
2013

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

ZARATINI, Alexei J.

Análise de viabilidade sócio-ambiental e econômica de alternativas de produção energética de subprodutos do sistema sucroenergético para usinas da região de Ribeirão Preto - SP. Ribeirão Preto, 2013.

149 f. : il.

Dissertação de Mestrado, apresentada à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.

Orientador: (OLIVEIRA), (Sonia V. W. B. de)

1. (energias renováveis). 2. (subprodutos sucroenergéticos). 3. (sustentabilidade sucroenergética).

Nome: ZARATINI, Alexei Jose

Título: Análise de viabilidade sócio-ambiental e econômica de alternativas de produção energética de subprodutos do sistema sucroenergético para usinas da região de Ribeirão Preto - SP

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração de Organizações para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Julgamento: _____
Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Julgamento: _____
Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Julgamento: _____
Instituição: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

A minha família, que me acompanhou e me acompanhará nos próximos passos. Meu pai, João, minha mãe, Sandra, e minha irmã, Barbara, pelo porto seguro que me representam, pela motivação que me deram e ainda darão.

Aos demais familiares, pela atenção sincera nos momentos de ajuda. Antecipadamente, àqueles dos quais ainda não me foi possível perceber a ajuda.

Dedico o resultado do trabalho àqueles a quem também agradeço pelos auxílios dados, os mais diversos.

Àqueles que participaram de maneira voluntária ou não do progresso e amadurecimento que experimentei neste período.

Por fim, a Deus, que é a razão sobre todas as coisas, este trabalho inclusive.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela concessão da bolsa de mestrado. Àqueles que com paciência auxiliaram no desenvolvimento da pesquisa com informações e orientações. Aos pesquisadores, em seus trabalhos, pela contribuição de suas pesquisas.

À banca examinadora, nas figuras de Thiago Romanelli e Lara Liboni, e a minha orientadora, Sonia Oliveira, pela solicitude e atenção sinceras nos apontamentos sugeridos.

À Universidade de São Paulo, na figura dos professores e demais pessoas envolvidas em seu funcionamento e excelência.

Aos que possibilitaram o apoio da usina, que acompanharam a pesquisa até o fim e auxiliaram ao seu desenvolvimento da melhor maneira.

A João Ducatti e Manoel de Almeida, da Piracicaba Engenharia, pela disposição em auxiliar e pelos contatos de consultores sugeridos.

A todos os consultores que participaram da pesquisa, pela abertura e disposição em ajudar.

*Via plantas de cana
com sua cabeleira, ou crina,
muita folha de cana
com sua lâmina fina,
muita soca de cana
com sua aparência franzina,
e canas com pendões
que são as canas maninhas.
Como terras de cana,
são muito mais brandas e femininas.
Foram terras de engenho,
agora são terras de usina.*

João Cabral de Melo Neto.

*Três verbos existem que, bem conjugados, serão lâmpadas luminosas em nosso caminho -
Aprender, Servir e Cooperar.*

Chico Xavier.

RESUMO

ZARATINI, A. J. **Análise de viabilidade sócio-ambiental e econômica de alternativas de produção energética de subprodutos do sistema sucroenergético para usinas da região de Ribeirão Preto – SP.** 2013. 149 f. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2013.

O tema sustentabilidade tem sido mais valorizado à medida que a humanidade começa a perceber as consequências em desprezar as leis de equilíbrio natural dos recursos disponíveis. A partir daí, reorganizar as formas de produção em vistas do melhor aproveitamento de subprodutos, bem como focalizar os esforços e recursos em fontes renováveis de energia, são pontos cada vez mais importantes. A matriz energética brasileira é predominantemente de origem hidrelétrica; porém, outras fontes de energia, inclusive geradas a partir de resíduos, também têm recebido maior atenção no Brasil. Nesse contexto, o objetivo geral desta pesquisa é avaliar a viabilidade sócio-ambiental e econômica de alternativas de produção energética a partir de subprodutos do sistema sucroenergético. A presente pesquisa é do tipo quali-quantitativa, aplicada, envolvendo a caracterização e comparação das diversas alternativas, a partir de variáveis de custo, produção, logística, emissões, recolhimento de impostos, eficiência energética, dentre outras. Para a coleta de dados primários foram realizadas entrevistas com gestores e técnicos de usinas do setor sucroenergético, pesquisadores da área, bem como responsáveis por políticas públicas no tema de estudo. Para a coleta de dados quantitativos, foram utilizados formulários, a fim de levantar dados referentes a volume de resíduos produzido, produtividade energética das alternativas, custos de implantação e de outros processos e variáveis relacionados. As análises quantitativas dos dados foram realizadas a partir da aplicação de um modelo de Simulação de Monte Carlo e análises de sensibilidade, dentro do contexto da metodologia RBMCA (*Risk-Based Multi Criteria Assessment*). Para as análises econômicas de viabilidade do investimento, foram utilizadas técnicas de matemática financeira, como Coeficiente Benefício/Custo (B/C) e Valor Presente Líquido (VPL) das alternativas. Como resultado, a pesquisa permitiu trazer à realidade do setor sucroenergético brasileiro uma metodologia de análise de viabilidade que leva em consideração o risco envolvido nas variáveis consideradas, a RBMCA, aplicada sobre projetos envolvendo o bagaço, a vinhaça e o palhço. Permitiu ainda verificar o direcionamento das pesquisas realizadas sobre alternativas de aproveitamento dos subprodutos sucroenergéticos e a disponibilidade de informações referentes a aspectos socioambientais dos projetos envolvidos nas análises. Ao final da aplicação da metodologia, foi possível verificar que há uma diferença de viabilidade dos projetos que torna necessário o aprofundamento das pesquisas dedicadas a levantar aspectos socioambientais e de viabilidade técnica de mais projetos que possam ser implantados.

Palavras-chave: Energias renováveis. Subprodutos do sistema sucroenergético. Sustentabilidade energética. Análise de indicadores.

ABSTRACT

ZARATINI, A.J. **Análise de viabilidade sócio-ambiental e econômica de alternativas de produção energética de subprodutos do sistema sucroenergético para usinas da região de Ribeirão Preto – SP.** 2013. 149 f. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2013.

Sustainability has been more valued as humanity begins to realize the consequences for disregarding laws of balance of natural resources. Then, rearranging production ways and processes in view of better utilization of by-products, as well as focusing efforts and resources on renewable energy sources are becoming increasingly important points. The Brazilian energy matrix is predominantly hydroelectric but other energy sources including the ones generated from wastes also have receives increasing attention in Brazil. In this context the objective of this research is to evaluate socioeconomic and environmental feasibility of alternatives for energy production from sugarcane by-products. This type of research is qualitative and quantitative, applied, involving the characterization and comparison of various alternatives, as cost variables, production, logistics, emissions, tax payment, energy efficiency, among others. For primary data collection, interviews were conducted with managers and technicians of sugarcane industry, researchers and policy makers in the field of study. To collect quantitative data forms were used in order to collect data regarding the volume of waste produced, energy productivity of alternatives, implementation costs and other related processes and variables. Quantitative analyzes of data were performed by the application of a model of Monte Carlo simulation and sensitivity analyzes within the context of the methodology RBMCA (Risk-Based Multi Criteria Assessment). For economic feasibility analysis of investment were applied financial mathematic techniques, such as coefficient Benefit / Cost (B / C) and Net Present Value (NPV) of the alternatives. As a result, the research allowed bringing to Brazilian sugarcane industry reality a methodology of feasibility assessment that takes into account the risk involved in the variables considered, the RBMCA, applied to projects involving bagasse, vinasse and straw. Research also allowed to check the direction of researches dedicated to analyses alternatives uses of sugar and ethanol byproducts and availability of information regarding the environmental aspects of the projects involved in the analyzes. At the end of methodology application, it was possible to verify that there is a difference in projects feasibility which makes necessary the research development dedicated to raising environmental aspects and technical feasibility of more projects that can be deployed.

Keywords: Renewable energy. Sugarcane wastes. Energy sustainability. Analysis of indicators.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Artigos publicados por ano.....	69
Gráfico 2 - Número de publicações por países-foco das pesquisas conduzidas.....	70
Gráfico 3 - Número de publicações por resíduo abordado.....	73
Gráfico 4 - FDPA para a alternativa 1 do bagaço.	89
Gráfico 5 - FDPA para alternativa 2 do bagaço.	91
Gráfico 6- FDPA da alternativa a1 da vinhaça.	94
Gráfico 7 - FDPA da alternativa a2 da vinhaça.....	96
Gráfico 8 - FDPA da alternativa a3 da vinhaça.....	98
Gráfico 9 - FDPA da alternativa a1 do palhiço.	100
Gráfico 10 - FDPA da alternativa a2 do palhiço.	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - comparação entre safras 2010/2011 e 2011/2012 para região centro-sul do Brasil.	24
Tabela 2 - Publicações relativas à finalidade das alternativas de reutilização de resíduos.....	73
Tabela 3 - de publicações por setores e atividades de interesse.	74
Tabela 4 - Pesos dos critérios para todos os resíduos.....	88
Tabela 5 - critérios e probabilidades para a1	90
Tabela 6 - Análise de sensibilidade para alternativa 1.	90
Tabela 7 - Critérios e probabilidades para a2	92
Tabela 8 - Análise de sensibilidade para alternativa 2.	93
Tabela 9 - Critérios e probabilidades para alternativa a1	94
Tabela 10 - Análise de sensibilidade para alternativa a1	95
Tabela 11 - Critérios e probabilidades para alternativa a2	96
Tabela 12 - Análise de sensibilidade para alternativa a2	97
Tabela 13 - Critérios e probabilidades para alternativa a3 , da vinhaça.	99
Tabela 14 - Análise de sensibilidade para alternativa a3 da vinhaça.	99
Tabela 15 - Critérios e probabilidades para alternativa a1 , do palhiço.....	101
Tabela 16 - Análise de sensibilidade para alternativa a1 do palhiço.....	101
Tabela 17 - Critérios e probabilidades para alternativa a2 , do palhiço.	103
Tabela 18 - Análise de sensibilidade para alternativa a2 do palhiço.....	103
Tabela 19 – Emissão de poluentes em MCI de potência inferior a 50 MW, em g/GJ.....	107
Tabela 20 - Pontuações e resultado da análise RBMCA, para bagaço.....	110
Tabela 21 - Pontuações e resultado da análise RBMCA, para vinhaça.....	110
Tabela 22 – Pontuações e resultado da análise RBMCA, para palhiço.	111
Tabela 23 – Comparação entre VPL e coeficiente B/C das alternativas.	111

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dados gerais da produção canavieira no Brasil.	23
Quadro 2 - Temas abordados pela revisão bibliográfica.....	26
Quadro 3 - Demanda por investimentos na matriz energética de 2005-2030 (US\$ bilhões).....	31
Quadro 4 - Caracterização dos resíduos da cana.....	36
Quadro 5 - Listagem de alternativas por resíduo.	77
Quadro 6 – Variáveis não consideradas no modelo de simulação para o bagaço.	105
Quadro 7 - Variáveis não consideradas no modelo de simulação para o bagaço.....	107
Quadro 8 - Variáveis não consideradas no modelo de simulação para o bagaço.....	109

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivos	20
1.2 Justificativa.....	21
2 REVISÃO DA LITERATURA	26
2.1. Sustentabilidade e sua importância mundial	27
2.2 Matriz energética nacional	29
2.3 Sucroenergia e sua relevância	32
2.4 Resíduos da cana-de-açúcar e suas alternativas de destinação.....	34
2.5 Aspectos sociais do setor sucroenergético	39
2.6 Responsabilidade social e o setor sucroenergético.....	41
2.7 Análise de indicadores em sustentabilidade	43
2.8 Avaliação de externalidades em projetos de gestão de resíduos no setor sucroenergético	46
2.9 Análise de benefício/custo e a metodologia <i>risk-based multi-criteria assessment</i>	48
3 MÉTODO	54
3.1 Aspectos Gerais.....	54
3.2 Revisão bibliográfica e o levantamento bibliométrico.....	55
3.3 Entrevistas	57
3.4 Metodologia RBMCA e sua aplicação	60
3.5 Plano de trabalho	65
4 LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO	68
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
5.1 Alternativas analisadas	76
5.1.1 Bagaço	79
5.1.2 Vinhaça	80
5.1.3 Palhiço	81

5.2 Variáveis consideradas.....	83
5.3 Equações do modelo de simulação	84
5.3.1 bagaço.....	84
4.3.2 Vinhaça.....	85
4.3.3 Palhiço.....	87
5.4 Critérios de decisão.....	88
5.5 Resultados da Simulação de Monte Carlo	89
5.5.1 Bagaço.....	89
5.5.2 Vinhaça.....	93
5.5.3 Palhiço.....	100
5.6 Caracterização de aspectos econômicos e socioambientais não considerados nas simulações.....	104
5.6.1 Bagaço.....	105
5.6.2 Vinhaça.....	106
5.6.3 Palhiço.....	108
5.7 Pontuações das alternativas e a tomada de decisão final	109
5.8 VPL dos projetos considerados.....	111
5.9 Análises e discussão dos resultados.....	112
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	118
6.1 Restrições da pesquisa	120
6.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	121
REFERÊNCIAS	124
APÊNDICES	134
APÊNDICE A: Roteiro de entrevista – delineamento dos resíduos e análises.....	134
APÊNDICE B: Roteiro de entrevista - Usina	135
APÊNDICE C: Formulário de controle de disponibilidade das variáveis.....	137
APÊNDICE D: Externalidades potencialmente incluídas nas análises	139

APÊNDICE E: Planilha de variáveis para o bagaço.	140
APÊNDICE F: Planilha de variáveis para a vinhaça.	143
APÊNDICE G: Planilha de variáveis para o palhiço.	146

1 INTRODUÇÃO

Os problemas ambientais de impacto global começam a se manifestar em uma realidade em que se constata haver relações e nexos causais entre o comportamento pouco comprometido das formas de organização humana com as consequências do uso desordenado de recursos naturais e com os desequilíbrios ambientais em si (SILVA, 2008). Medidas mais amplas de gerência, ou seja, contempladoras de questões globais, se fazem necessárias para evitar que sejam ampliados os impactos do uso desordenado de recursos naturais (VAN BELLEN, 2004).

Essas e outras medidas devem ser estudadas, de acordo com ambientalistas e especialistas, em consideração da máxima “pensar globalmente, agir localmente” (HALE; MAUZERALL, 2004). Ainda segundo os autores, problemas globais como a degradação da camada de ozônio e mudanças climáticas são inerentemente internacionais, tanto em causa como em efeito, o que justifica o pensamento holístico sobre o problema do desgaste ambiental.

Para redução do consumo de recursos naturais e do impacto da ação humana no ambiente, é relevante que a matriz energética de um país seja diversificada e baseada em fontes mais limpas e renováveis (CASTRO et al., 2009). É o caso da matriz energética brasileira, que possui participação relativa significativa de combustíveis renováveis, em específico a energia hidrelétrica, predominantemente, e a bioeletricidade de etanol, como perspectiva (BRASIL, 2008).

De tal maneira, os estudos e políticas públicas dedicados à expansão da matriz energética brasileira focam nas fontes complementares à hidrelétrica, por terem estas ainda um potencial relativo de expansão, além de se fazer necessário a mencionada diversificação da matriz, com foco em energias limpas e renováveis, especialmente quando se considera que algumas dessas fontes – as agroindustriais – possuem complementaridade com a sazonalidade do regime pluvial (CASTRO et al., 2009). Ainda segundo os autores, as pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) constituem alternativas importantes para o uso da energia hidrelétrica potencial com impactos ambientais de implementação reduzidos. Ainda que tal alternativa seja adotada, a sazonalidade dos reservatórios de água, e de energia potencial, consequentemente, forçam o poder público a buscar alternativas, sendo as usinas termelétricas a alternativa que parece ser adotada, mesmo com a constatação de que tal fonte de energia, baseada em combustíveis

fósseis, como vem sendo implementada, implica retrocesso na caracterização da matriz brasileira como sendo renovável (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007; CASTRO et al., 2009).

É nesse contexto que os biocombustíveis aparecem como alternativa de redução de impactos ambientais negativos, por permitirem a produção de energia por meio de fonte limpa e renovável (MEIRA FILHO; MACEDO, 2010). Essa fonte, aliás, permite evitar a liberação sem recaptura na atmosfera de gases de efeito estufa que seriam emitidos caso fossem utilizados combustíveis fósseis, considerando-se nesse aspecto diferenças de concentração de carbono no solo para diferentes tipos e localização geográfica do solo cultivado, que modificam as proporções de carbono capturado e reemitido (MEIRA FILHO; MACEDO, 2010). Ainda segundo os autores, “em 2006 a mitigação com o etanol (e energia associada) alcançou 22% das emissões finais dos dois setores [açúcar e álcool], e chegaria a 43% em 2020” (MEIRA FILHO; MACEDO, 2010, p. 85). A não transição para um sistema produtivo mais limpo, ou a demora em efetivar essa transição, implica em crescimento dos custos de adaptação a uma realidade de adversidade ambiental (MEIRA FILHO; MACEDO, 2010).

Por conta desse caráter renovável, a relevância dos biocombustíveis para que se alcance uma matriz energética mais limpa tem sido cada vez mais considerada quando é tratado o tema da sustentabilidade. Estabelecer uma alternativa que permita escapar à condição de dependência dos combustíveis fósseis implica em saber utilizar melhor os recursos disponíveis para a transformação de energia solar em energia química (SILVA, 2008).

Paralelamente, a questão social dos combustíveis renováveis deve ser considerada no presente estudo. Os biocombustíveis representam desdobramentos não somente do ponto de vista ambiental natural, mas também social.

A cana-de-açúcar, por ser matéria-prima da produção do biocombustível etanol, figura papel relevante nas questões relacionadas ao suprimento energético brasileiro. A cana-de-açúcar armazena em sua estrutura, principalmente no colmo, caldo com alta concentração de sacarose, que, após passar por esmagamento, é submetido a processos de fermentação até que possa ser obtido o etanol (MIRANDA, 2009; NEVES; CONEJERO, 2010). Ainda segundo os autores, seus índices de produtividade tornam-na especialmente competitiva face às outras matérias-primas para produção de bioetanol. A demanda por etanol no mercado nacional tem crescido e impulsionado sua produção, com crescimento de cerca de 150% da safra de 1990/91 para 2007/08, segundo dados de entidades relacionadas ao setor (NEVES; CONEJERO, 2010).

O processamento da cana demanda grande quantidade de água, energia térmica e eletromecânica, sendo as duas últimas provenientes da queima do próprio bagaço (MIRANDA, 2009). A diversidade de resíduos gerados no processo produtivo da cana requer que diferentes medidas sejam tomadas para destinação correta dos mesmos, como coleta e tratamento de resíduos gasosos resultantes da queima do bagaço; o próprio bagaço e outros resíduos sólidos, como a palha, além de resíduos diluídos em água, como a vinhaça, segundo Miranda (2009). Por serem lignocelulósicos, os materiais residuais da estrutura da cana-de-açúcar podem ser utilizados para produção de biomoléculas, *commodities* químicas ou ainda para produção de energia (MIRANDA, 2009).

Além dos resíduos gerados diretamente no sistema produtivo sucroenergético, há também a geração de biomassa na forma de bagaço e palhço, que atualmente é utilizada pelas usinas para aproveitamento de energia por queima direta, como afirmado pela mesma autora (MIRANDA, 2009). Tanto os resíduos como a biomassa são passíveis de análises que permitam esclarecer aspectos relacionados à produtividade e à sustentabilidade de suas destinações. É dessas análises que trata o presente trabalho. Para que tais análises sejam realizadas com rigor científico, é necessário valer-se de ferramentas ou modelos analíticos da viabilidade e sustentabilidade de atividades agroindustriais com foco em resíduos. Esses modelos, ou diretrizes, no entanto, ainda estão em processo de elaboração tanto na comunidade científica como em organizações dedicadas ao tema (WILLIAMS et al., 2009), sem que haja um consenso de análise. A falta de consenso, no entanto, não impede que modelos mais consagrados em outros escopos de análise sejam utilizados, adaptados ou não, para a análise de alternativas de uso dos subprodutos do sistema em estudo, sem prejuízo expressivo de abrangência. É com a obtenção de dados primários e aplicação em um modelo de análise de viabilidade e sustentabilidade que será possível encontrar resposta para a busca por viabilidade sustentável na gestão de resíduos do setor sucroenergético.

A questão da melhor utilização dos resíduos produtivos no sistema sucroenergético é o tema central que delineia essa pesquisa. Foram considerados aspectos da logística dos resíduos, da operacionalização das alternativas, além de aspectos relativos à implantação das mesmas, valendo-se da noção de viabilidade econômica e sócio-ambiental dos projetos. É objetivo desse trabalho responder à questão de quais alternativas de destinação dos subprodutos do setor sucroenergético melhor traduzem o desígnio de energia limpa produzida por esse setor. O escopo e o ferramental de análise foram estabelecidos à medida que o levantamento bibliográfico e a obtenção de dados primários diretamente com envolvidos no setor

permitiram um esclarecimento do assunto, em vistas de quais resíduos devem ser considerados. Foi necessário proceder dessa maneira em razão das limitações da pesquisa e do acesso às informações disponíveis. O estabelecimento da metodologia, portanto, deu-se desde o início da pesquisa e foi finalizado quando da disponibilidade de informações suficientes das pesquisas até então realizadas a respeito, das usinas e das alternativas potencialmente analisáveis. Para o presente estudo, foram ser considerados os investimentos iniciais, além de se levar em conta aspectos sistêmicos da cadeia produtiva – para a região de Ribeirão Preto -, como os gastos logísticos de transporte do resíduo, caracterizado em biomassa, e do transporte da própria energia, potencial ou efetiva.

1.1 Objetivos

O objetivo geral da presente pesquisa é avaliar a viabilidade sócio-ambiental e econômica de alternativas de produção energética a partir de subprodutos do sistema sucroenergético.

Os objetivos específicos são:

1. Apresentar um resumo da atual situação da matriz energética brasileira, indicando a contribuição da indústria sucroenergética na mesma;
2. Identificar e caracterizar os principais subprodutos do sistema sucroenergético;
3. Identificar as possibilidades de produção de energia a partir desses subprodutos;
4. Levantar dados que indiquem custos, capacidade energética gerada, volume, impactos ambientais, impactos sociais e sustentabilidade geral relacionados ao aproveitamento dos subprodutos do sistema sucroenergético;
5. Complementar essas informações com dados primários, a serem obtidos diretamente com envolvidos no sistema, tanto na gestão e operação da agroindústria, quanto pesquisadores e responsáveis por políticas públicas no setor, contribuindo assim para esclarecer questões relativas aos resíduos do sistema e suas possibilidades de utilização;

6. Definir as principais variáveis de caracterização e análise para os procedimentos do trabalho;
7. Equacionar os dados colhidos de forma a caracterizar as possíveis alternativas de produção de energia a partir de subprodutos do sistema;
8. Identificar vantagens e desvantagens das alternativas;
9. Identificar as alternativas mais indicadas, com vistas à sustentabilidade – ambiental, econômica e social.

1.2 Justificativa

A produção de energia elétrica através da força hidráulica é alvo de críticas relativas ao quão sustentável pode ser considerada, uma vez que demanda grandes áreas alagadas e ainda pode implicar na emissão de grandes volumes de metano, por conta da decomposição de material orgânico vegetal das áreas submersas, além das possíveis desapropriações de terra e manejo de populações nas áreas afetadas.

Outras fontes renováveis de energia, além de representarem alternativas tecnológicas para o uso da força hidráulica, podem ser mais bem aproveitadas levando-se em conta tanto o grande potencial do país como as possibilidades que as frentes de pesquisa prometem na área, como afirma Abranches (2008).

O estudo de matrizes energéticas alternativas encontra-se central nas discussões que se propõem a analisar e esclarecer novos métodos de organização da sociedade, centrada em outras fontes de energia que não os combustíveis fósseis (SILVA, 2008).

Por conta disso, abordar as potencialidades do uso da cana-de-açúcar como recurso vegetal renovável na geração de energia coincide com os interesses e competências nacionais de produção de energia, complementados pela importância da diversificação da matriz energética nacional (PLAZA; SANTOS; SANTOS, 2009), o que implicaria menor dependência do país por uma fonte energética especificamente, além de representar uma fonte mitigadora de emissões dos gases de efeito estufa (GEE) (LORA; ANDRADE, 2009).

O uso de biocombustíveis seria de grande utilidade não somente para o setor logístico e de transporte doméstico, por reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e reduzir as emissões de GEE (NIGRO; SZWARC, 2010; WELLS; FARO, 2011), como também para o setor de geração de energia elétrica em larga escala, para suprimento tanto da indústria como das áreas urbanas: o uso desses combustíveis poderia suprir a necessidade energética para geração de vapor, força motriz para o funcionamento das usinas termelétricas, e evitar assim a utilização de combustíveis fósseis para geração de energia (CASTRO; DANTAS; BRANDÃO, 2009).

No caso do setor de transporte logístico e doméstico, o país já se encontra em papel de vanguarda no uso de combustíveis renováveis e pode se aperfeiçoar ainda mais nesse potencial com o delineamento de uma política pública concisa para os biocombustíveis (NIGRO; SZWARC, 2010). Além dos aspectos positivos do etanol face ao uso da gasolina, há oportunidades também para substituição do diesel, principalmente para transporte urbano de cargas e passageiros e para o transporte no setor sucroenergético, nos quais é desejável a utilização de combustíveis limpos, havendo ainda possibilidade de desenvolvimento de soluções técnicas otimizadas, no caso de utilização de frotas cativas (NIGRO; SZWARC, 2010).

A indústria sucroenergética brasileira experimenta expansão principalmente em terras degradadas de pastagem dos Estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Goiás e São Paulo (NEVES; CONEJERO, 2010), com destaque para o último, cuja produção representa a maior parcela do montante produzido no país. Além das terras já utilizadas, da ordem de 8,4 milhões de hectares (ver quadro 1) a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) estima que haja ainda o equivalente a vinte milhões de hectares em terras oriundas da atividade pecuária que possam ser utilizadas pela cana-de-açúcar, com o desenvolvimento tecnológico da pecuária, o que significa afirmar que não há limitação de áreas agricultáveis no momento para a produção canavieira (NEVES; CONEJERO, 2010).

MOVIMENTA:	R\$ 51 bilhões
REPRESENTA:	1,76% do PIB.
GERAÇÃO DE EMPREGO	4,5 milhões de empregos diretos e indiretos.
FORNECEDORES:	14 mil fornecedores independentes vinculados à Orplana (Organização dos Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil). A área média de produção de cana é de 60 ha, variando de 20 a 249 ha nas diferentes regiões produtoras. 90% produzem até 10 mil toneladas. 72 mil canavieiros no Brasil
ÁREA CULTIVADA:	8,4 milhões de ha (área plantada)

	7,3 milhões de ha (área colhida)
PRODUTIVIDADE MÉDIA	81,5 t/ha 84,3 t/ha no Centro-sul 65,4 t/ha no Nordeste
MOAGEM:	572,6 milhões de toneladas de cana-de-açúcar 508,6 milhões de t no Centro-sul 63,9 milhões de t no Nordeste
PRODUÇÃO POR REGIÃO	31,5 milhões de toneladas de açúcar 27,2 milhões de t no Centro-Sul 4,2 milhões de t no Nordeste 27,6 bilhões de litros de etanol (18 bi L hidratado e 9,6 bi L anidro) 25,2 bilhões de L no Centro-Sul 2,4 bilhões de L no Nordeste
EXPORTAÇÕES:	20,8 milhões de toneladas de açúcar (US\$ 6 bi) 17,7 milhões de t do Centro-sul 3,1 milhões de t do Nordeste 4,7 bilhões de litros de etanol (US\$ 2,2 bi) 4,2 bi de L do Centro-Sul 0,5 bi de L do Nordeste
BIOELETRICIDADE:	2.700 MW médio 3% da matriz elétrica brasileira
IMPOSTOS:	R\$13 bilhões em impostos e taxas.
INVESTIMENTOS:	R\$ 6 bilhões/ano 93 novas unidades instaladas nos últimos 5 anos (84 no Centro-Sul) Expectativa entrada em operação de 23 novas unidades em 2009/2010.
AGENTES:	420 Unidades 248 Unidades Mistas 156 Destilarias Autônomas (Somente Etanol) 16 Usinas de Açúcar (Somente Açúcar)

Fonte: Neves e Conejero (2010).

Quadro 1 - Dados gerais da produção canavieira no Brasil.

O quadro 1 relaciona os números gerais da produção canavieira no país, para que se possa traçar um panorama da atividade econômica do setor e sua representatividade. No referido quadro, observa-se a relevância da região Centro-Sul para o setor, em todos os aspectos abordados. Justifica-se assim o estado de São Paulo, sendo destaque da região Centro-Sul – e consequentemente do Brasil, por conta de sua produção representar cerca de 60% da produção nacional, segundo dados dos mesmos autores -, figurar como lócus relevante para realização de pesquisas.

Essa relevância aplica-se mais especificamente também à região de Ribeirão Preto, por ser esta de grande capacidade produtiva e localização privilegiada em relação aos centros de consumo (NEVES; CONEJERO, 2010). Ainda por meio do quadro 1 observa-se que há um volume de investimentos significativo para o setor, novamente com destaque para a região Centro-Sul.

A indústria sucroenergética já busca formas de aproveitar seus subprodutos de modo a incrementar a produtividade das usinas. Em razão do interesse em reduzir custos nas unidades de produção, algumas alternativas economicamente interessantes se tornaram prática comum em usinas produtoras (UNICA, 2008). Assim é na reutilização da vinhaça e das tortas de filtro como fertilizantes, das águas utilizadas em diversos processos do sistema produtivo e dos resíduos sólidos, como o bagaço, destinado à queima direta para produção de energia e a palha da cana-de-açúcar, que é tanto utilizada como combustível em queima direta como revestimento para o solo, otimizando o processo de adubação e proteção do mesmo (UNICA, 2008).

Atualmente desenvolvem-se tecnologias voltadas a alcançar a segunda geração para produção de etanol: a hidrólise de celulose, que consiste basicamente em submeter a celulose da biomassa a processos de hidrólise química, enzimática ou de auto-hidrólise, para obter açúcares fermentáveis, representando um aumento na produtividade das alternativas de biomassa para produção de energia (BUCKERIDGE; SANTOS; SOUZA, 2010). Por meio dessa tecnologia, a produção de etanol poderia alcançar outros padrões de produtividade, ampliando assim sua participação na matriz energética nacional, com uma economia de cerca de 3,2 milhões de hectares de plantação de cana no país, segundo dados da UNICA (NEVES; CONEJERO, 2010).

Além dos dados apresentados no quadro 1, é relevante para contextualização do comportamento do setor na região centro-sul que se observe a variação de alguns indicadores entre as safras 2010/2011 e 2011/2012, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1 - comparação entre safras 2010/2011 e 2011/2012 para região centro-sul do Brasil.

PRODUTOS	SAFRA		
	2010/2011	2011/2012	Variação
Cana-de-açúcar	556.945,00	493.159,00	-11,45%
Açúcar	33.501,00	31.304,00	-6,56%
Etanol anidro	7.413,00	7.466,00	0,71%
Etanol hidratado	17.971,00	13.076,00	-27,42%
Etanol total	25.385,00	20.542,00	-19,08%
Mix (%) açúcar	44,93%	48,44%	
Mix (%) etanol	55,07%	51,56%	

Litros etanol/tonelada de cana	45,58	41,65	-8,61%
kg de açúcar/tonelada de cana	60,15	63,48	5,53%

Fonte: UNICA (2013).

Esses estudos e dados disponibilizados em publicações e relatórios oficiais, acadêmicos e institucionais dão dimensão da relevância do setor, de sua capacidade de crescimento, com pressão significativamente reduzida para ocupação de terras em produção alimentícia ou de reservas, suas perspectivas de incrementos em produtividade e sua relevância para a busca de energia sustentável. Pesquisar soluções de incremento produtivo no setor deve possibilitar impactos positivos para a realidade das questões relacionadas.

Há interesse econômico, bem como um reflexo em interesse científico, em relação ao desenvolvimento de biocombustíveis, como ressaltado anteriormente. A partir desse interesse e da disponibilidade ainda crescente de material científico que permita se chegar a conclusões mais claras a respeito de quão promissora pode ser a cana-de-açúcar em um cenário de utilização dos biocombustíveis em escala mundial, faz-se necessária a pesquisa mais detalhada das possibilidades existentes para os resíduos desse sistema.

Há estudos que se propõem a esclarecer aspectos relacionados à produção de bioenergia a partir de resíduos, ou outras destinações e suas implicações, tanto na realidade brasileira (FARINAS et al., 2008; LORA; ANDRADE, 2009; MIRANDA, 2009; RIBAS et al., 2009; OLIVEIRA; HENRIQUES; PEREIRA JR., 2010; BUCKERIDGE; SANTOS; SOUZA, 2010; WELLS; FARO, 2011), como em outros países (SILALERTRUKSA; GHEEWALA, 2011; WILLIAMS et al., 2009; LI; WANG; SHEN, 2010; GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2010). Para esses trabalhos, em geral, as conclusões foram positivas e favoráveis à manutenção dos estudos e utilização dos biocombustíveis em questão. A proposta de elaboração de uma análise mais ampla dos resíduos e das alternativas de uso, com vistas à sustentabilidade plena, no entanto, ainda não foi realizada para o setor sucroenergético. Sendo a região de Ribeirão Preto destaque nacional na produção sucroenergética, fica mais clara a relevância do presente estudo para a ampliação dos horizontes de discussão sobre o papel desse setor.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura será abordada relacionando-se os temas relevantes para a fundamentação da pesquisa, em ordem decrescente de abrangência dos temas. Assim, será tratado primeiramente o tema da sustentabilidade, para que se possa apresentar e caracterizar a matriz energética nacional e, a partir dela, delinear a importância do setor sucroenergético na matriz nacional. Serão tratados em sequência os temas mais específicos, já relativos à utilização dos resíduos da cana-de-açúcar e da análise de indicadores em sustentabilidade. A revisão bibliográfica deve permitir que se alcance os quatro primeiros objetivos da pesquisa, já indicados. O quadro 2 esboça os temas a serem abordados:

SUSTENTABILIDADE	O que é sustentabilidade; a importância da sustentabilidade no mundo e no Brasil.
MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL	Panorama da matriz energética brasileira, suas singularidades e perspectivas.
A SUCROENERGIA E SUA RELEVÂNCIA	O setor sucroenergético brasileiro e da região de Ribeirão Preto e sua importância para a matriz energética, a energia limpa.
OS RESÍDUOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	Caracterização dos resíduos do sistema sucroenergético quanto a volume produzido, poder de poluição, poder energético e custos de alternativas dos mesmos.
ASPECTOS SOCIAIS DO SETOR SUCROENERGÉTICO	As mudanças do uso da mão de obra no setor, o Índice de Qualidade do Emprego e sua relação com a metodologia aplicada, o meio social rural e a grande propriedade canavieira.
A ANÁLISE DE INDICADORES EM SUSTENTABILIDADE	As dificuldades em obtenção de um modelo de análise de indicadores. Os modelos disponíveis.
A AVALIAÇÃO DE EXTERNALIDADES NOS PROJETOS	Conceito de externalidade, sua importância para as questões globais, seu impacto nas análises de projetos, variáveis consideradas para as externalidades nos projetos.
A ANÁLISE DE BENEFÍCIO/CUSTO E A RBMCA	A metodologia RBMCA de análise de projetos em gestão de resíduos, a inserção da metodologia na análise de benefício/custo, sua relevância na análise dos projetos.

Fonte: Do autor.

Quadro 2 - Temas abordados pela revisão bibliográfica

2.1. Sustentabilidade e sua importância mundial

O planeta e seus recursos não são capazes de sustentar o consumo e o nível de atividade econômica, de modo que a capacidade de regeneração do capital natural não se mostra suficiente para superar o desgaste desses recursos (VAN BELLEN, 2004). Ainda segundo o autor, a aplicação do conceito sustentabilidade exige que seja gerida a própria humanidade, de maneira ampla, ao invés de se gerir apenas os recursos naturais.

O tema sustentabilidade tem sido mais valorizado à medida que a humanidade começa a perceber as consequências em desprezar as leis de equilíbrio natural dos recursos disponíveis. Se por um lado há relativo consenso científico sobre tais consequências, por outro, questões de interesse particular ainda entravam o progresso tecnológico e social direcionado a uma racionalidade na produção e consumo humanos (NOBRE, 2008).

Uma das consequências do uso desordenado de recursos naturais é a questão das mudanças climáticas, que, por sua vez, implicará em consequências para a manutenção da biodiversidade e para a segurança de comunidades mais vulneráveis às intempéries da natureza. É por isso que, “acima de tudo, o aquecimento global deve ser encarado como uma questão moral e ética: aqueles que menos contribuíram para o problema são os que vão sofrer as mais graves consequências” (NOBRE, 2008, p. 19). É necessário, ainda, que o problema seja pensado sob uma ótica global, à medida que pouco será eficaz que mudanças ocorram de forma isolada no contexto mundial, sem a efetiva participação cooperativa de entidades locais e globais (HALE; MAUZERALL, 2004).

Além disso, as medidas que visem superar os problemas ambientais devem ser pensadas em duas frentes (ABRANCHES, 2008): a de adaptação a uma nova realidade ambiental, fruto do desgaste já sofrido até os dias de hoje, e que não mais podem ser revertidos em prazos realistas, e a busca de tecnologias e alternativas que freiem o processo de degradação ambiental, seja ela climática ou não, para que o quadro de alterações na natureza, frutos de ações humanas, não se agrave ainda mais. Nesse contexto, reorganizar as formas de produção em vistas do melhor aproveitamento de subprodutos, bem como focalizar os esforços e recursos em fontes de energia renováveis, que possam transformar energia solar em energia química com viabilidade técnico-ambiental e estabilidade, devem ser vistos como relevantes para alcançar tais medidas (SILVA, 2008).

A questão das mudanças climático-ambientais começa a chamar atenção da sociedade brasileira, ainda que esse processo tenha ocorrido depois de já percebido o problema como uma questão global, tendo as discussões acerca da sustentabilidade sócio-ambiental começado a tomar corpo tanto no meio acadêmico como governamental, empresarial e na sociedade civil (HALE; MAUZERALL, 2004; NOBRE, 2008).

Alcançar sucesso na reversão da degradação ambiental passa necessariamente por dois vetores de atuação, no âmbito nacional: (i) o desenvolvimento de políticas públicas que promovam tanto a readaptação da mentalidade brasileira à nova realidade ambiental, como o estabelecimento de diretrizes de desenvolvimento que visem contornar as dificuldades geradas pelas mudanças no equilíbrio ambiental; (ii) e o comprometimento de setores empresariais em desenvolver alternativas viáveis de uso sustentável de recursos naturais em seus processos, produtos e serviços (NOBRE, 2008).

Há um componente político-ideológico no desenrolar das discussões sobre sustentabilidade que dificulta a adoção dessas posturas, e que é percebido não só no Brasil, mas em âmbito internacional (HALE; MAUZERALL, 2004; NOBRE, 2008). Assumir o consenso ambientalista ou conservador decorre do interesse maior ou menor em promover mudanças na rotina produtiva humana, e cada força ideológica tenta valer-se de argumentos científicos para fundamentar-se. Em geral, parece haver tendência para que a Ciência, distanciada de tais pressões político-ideológicas, indique haver razões confiáveis para crer que a ação humana pode determinar variações climáticas e mais que isso, determinar alterações no equilíbrio ambiental que prejudiquem a biodiversidade terrestre (ABRANCHES, 2008). Nesse sentido, o campo político surge como cenário importante para as discussões e estabelecimento de diretrizes para a manutenção do equilíbrio ambiental (NOBRE, 2008).

2.2 Matriz energética nacional

No caso brasileiro, a posição entre os países emissores de GEE é privilegiada em comparação com outras nações em desenvolvimento carbono-intensivas, como China (LI; WANG; SHEN, 2010). Isso se dá pela economia nacional ser menos carbono-intensiva, e a origem da maior parcela de suas emissões estar em um desmatamento que pouco contribui para o desenvolvimento econômico das regiões afetadas e que, dessa forma, pode ser mitigado sem grande desgaste econômico, ou, ainda, com crescimento econômico no caso de estratégias bem formuladas (ABRANCHES, 2008). Ainda segundo o autor, o fato do padrão da matriz energética brasileira ser diferente do mundial é importante para possibilitar o desenvolvimento do país para uma economia de baixo carbono, sem que precise haver grandes sacrifícios.

A matriz elétrica brasileira é predominantemente de origem hidrelétrica, fato que confere ao país posição de destaque no cenário internacional do uso de fontes renováveis para produção de energia, em virtude de tal fonte ser reconhecida como limpa (BRASIL, 2008, CASTRO et al., 2009). Cabe lembrar que as nações têm discutido sobre os riscos que as já instaladas usinas nucleares podem trazer à população, após os incidentes provocados em março de 2011, pelo terremoto no Japão, conforme divulgado tanto em imprensa nacional como internacional (CASTRO, 2011; BBC, 2011). Em contraposição à dificuldade do mundo em buscar energia de fontes renováveis, a matriz elétrica brasileira experimentou um aumento de 2,5% na participação da energia de fontes renováveis ao longo de 2011, atingindo 88% do total, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2012). Já em relação à matriz energética, que contempla não somente a produção elétrica do país, observou-se redução de um ponto percentual na participação das renováveis, em razão da menor oferta de biomassa de cana, por conta da safra menor, ainda segundo a EPE (2012).

A demanda brasileira por energia passou por forte crescimento ao longo do século XX, em consequência do aumento da população e de seu maior acesso a consumo, relacionados à maior urbanização, industrialização e à construção de uma infra-estrutura de transporte com base energo-intensiva (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007). O consumo médio *per capita* brasileiro de energia foi, em 2007, da ordem de 1,109 toneladas equivalentes de petróleo (tep), inferior ao padrão de consumo mundial, alavancado pelos grandes consumidores e países cuja necessidade de aquecimento no inverno é maior

(TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007). No entanto, o crescimento observado de 2007 até 2012 foi da ordem de 31,38%, já que o valor do consumo per capita saltou de 1,109 tep para 1,457 tep em 2012 (EPE, 2013). Ainda segundo Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007), a expectativa de crescimento da economia brasileira e a redistribuição de suas riquezas impulsionarão o consumo atual para uma média de 2.345 tep/10³ hab anuais até 2030, o que significaria ainda um consumo inferior ao de países como Portugal, Grécia ou África do Sul, na faixa de 2.400 a 2.800 tep/10³ hab. É importante considerar o aumento da eficiência energética brasileira observada em 2011, resultado de um aumento na oferta de energia proporcionalmente menor do que o aumento do PIB, o que significa que a economia nacional produziu mais riquezas com menos energia consumida (EPE, 2012).

Por conta dessa expansão, estima-se que os investimentos em fontes geradoras de energia no país serão ampliados consideravelmente ao longo dos próximos anos, até 2030. O quadro 3 indica as previsões de investimentos em diferentes componentes da matriz energética brasileira, de acordo com estudos realizados pela Petrobras, pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), ligada ao Ministério de Minas e Energia (MME), pelo Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE), ligado à Unicamp, e pela Datagro, empresa de consultoria para o setor sucroenergético (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

Nela, os valores são calculados com base em estimativas de investimento necessário para suprir as diferentes demandas para cada fonte de energia da matriz.

O quadro 3 deixa clara a representatividade da geração de eletricidade em si e do petróleo como captadores de investimento, frente às outras possibilidades energéticas na matriz brasileira.

O gás natural também demanda grandes investimentos para suprir seu futuro mercado, tendo em vista que a possibilidade de uso desse combustível para produção de energia elétrica será mais bem aproveitada para suprimento da rede elétrica nacional (BAJAY; NOGUEIRA; SOUSA, 2010).

Os valores utilizados envolvem incertezas, basicamente em relação a fatores naturais e geopolíticos que podem determinar os rumos de alguns custos e de algumas necessidades de investimento, como no caso do gás natural, para o qual o amadurecimento de parcerias com os governos venezuelano e boliviano podem determinar nova realidade para o combustível no país, ao passo que fenômenos naturais podem implicar maior necessidade de investimento ou

ajustes em parques energéticos já instalados, para o caso da cana-de-açúcar, do biodiesel e da geração de eletricidade via hidrelétricas (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

DEMANDA POR INVESTIMENTO	US\$ bilhões
Petróleo	
E&P (exploração e produção)	20,8
Refino	60,2
Biodiesel	2 a 2,5
Gás natural	
E&P (exploração e produção)	80
Processamento	5,2
Distribuição (gasodutos)	4
Importação	4,3 a 6,3
Cana-de-açúcar	
Fase agrícola	11 a 14
Fase industrial	18
Eletricidade	
Geração	168
Transmissão	68
Distribuição	48 a 52
Expansão da matriz energética total	800

Fonte: do autor, com base em Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007).

Quadro 3 - Demanda por investimentos na matriz energética de 2005-2030 (US\$ bilhões)

O quadro 3 contribui por indicar as proporções existentes entre cada uma das alternativas de produção de energia consideradas, e tais proporções se devem tanto a questões mercadológicas como tecnológicas, a partir das quais a questão dos combustíveis limpos poderá ser novamente analisada em busca de uma matriz mais limpa. O impacto das fontes de energia sobre o ambiente é assim classificado em ordem de menor para maior impacto, por Goldemberg (2010, p. 4):

1. Uso da energia solar para aquecimento da água;
2. Energia fotovoltaica;
3. Energia dos ventos;
4. Energia da biomassa;
5. Pequenas centrais hidrelétricas;
6. Centrais hidroelétricas de poder médio;
7. Centrais térmicas e nucleares.

Goldemberg (2010) afirma ainda que a energia disponível nas centrais hidrelétricas, somada à energia de biomassa, são suficientes para atender a demanda brasileira em seu crescimento esperado.

2.3 Sucroenergia e sua relevância

Encontrar uma alternativa de produção de energia viável significaria inserir um novo paradigma de desenvolvimento humano que, de alguma forma, aproximaria o conceito de sustentabilidade. Se de um lado a ciência ainda busca formas de melhor entender os processos de transformação de energia de diferentes naturezas em outras úteis às ferramentas humanas (SILVA, 2008), de outro, ainda há barreiras de interesse político e econômico que dificultam a aceleração do desenvolvimento dessas tecnologias (NOBRE, 2008). Os entraves burocráticos, aliás, afetam não só a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias como as diretrizes para difusão das alternativas existentes, uma vez que os limites de responsabilidades das jurisdições ambientais municipais e federais são mal definidos, o que implica, de um lado, em barreiras para a expansão da produção de energia de fontes renováveis, e, de outro, a abertura para a manutenção de práticas prejudiciais do ponto de vista da sustentabilidade, inclusive por parte do próprio governo (PLAZA; SANTOS; SANTOS, 2009).

Para que a matriz energética cumpra sua função de suprimento de energia, é fundamental que os países atuem para planejar e assegurar o suprimento energético a preços razoáveis, fator essencial para o desenvolvimento e bem-estar da sociedade (BAJAY; NOGUEIRA; SOUSA, 2010). Mas, para além dos compromissos básicos em assegurar o suprimento, é necessário atender às demandas atuais em considerar aspectos sociais, econômicos e ambientais desse suprimento (BAJAY; NOGUEIRA; SOUSA, 2010), tanto em escala global como local (HALE; MAUZERALL, 2004). Sem desconsiderar a necessidade de assegurar suprimento, é possível buscar alternativas mais sustentáveis de suprimento energético, e a sucroenergia brasileira comunga com essa busca, podendo contribuir com o suprimento energético em larga escala (BAJAY; NOGUEIRA; SOUSA, 2010), ainda que não substituir o potencial elétrico da produção das hidrelétricas em prazos tangíveis (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

A partir de meados dos anos 1990, quando a figura do exportador de energia foi regulamentada, criou-se o marco legal para que as usinas sucroenergéticas desenvolvessem sua potencialidade de geração energética: “surgiram então as condições necessárias para a realização de investimentos em plantas eficientes de cogeração de energia, com o intuito de comercializar excedentes de energia elétrica” (CASTRO; DANTAS; BRANDÃO, 2009, p. 7).

Além disso, os mesmo autores afirmam ainda que:

O potencial de geração de bioeletricidade é função da safra de cana-de-açúcar, pois é o montante de cana colhida que determina o volume de biomassa residual disponível para a geração de bioeletricidade. O potencial depende também da tecnologia adotada, que determina a eficiência da conversão da biomassa em energia elétrica. (CASTRO; DANTAS; BRANDÃO, 2009, p. 7).

A sucroenergia possui outras vantagens que vão além de seu caráter sustentável e sua promessa de mitigação das emissões de gases poluentes e GEEs (CASTRO; BRANDÃO; DANTAS, 2009): a competitividade de custos, a complementaridade sazonal com as hidrelétricas, a maturidade da indústria sucroenergética e a proximidade com os centros de carga. Para essa função de fonte mitigadora, no entanto, Nobre (2008) ressalta que cuidados com a pressão do cultivo de biocombustíveis sobre reservas florestais, bem como com o uso de fertilizantes devem ser tomados para evitar que emissões de poluentes e GEE fiquem acobertadas pelo caráter renovável dos biocombustíveis.

Ainda, segundo Castro, Brandão e Dantas (2009), o ciclo expansivo do setor deve justificar investimentos em tecnologia para que a bioeletricidade se insira na matriz energética. Além disso, a falta de competitividade que a sucroenergia aparenta ter em face de outras fontes quando observados os leilões de energia nova é, na verdade, resultado dos critérios de contratação inadequados, que não conseguem mensurar os benefícios dessa fonte para a matriz nacional (CASTRO; BRANDÃO; DANTAS, 2009). Para os autores, o potencial produtivo, aliado à sua natureza renovável, e sua promessa de mitigar emissões de poluentes e GEEs, deveriam ser considerados para elaboração de tais critérios. Assim, para os mesmos, seria mais eficaz se fossem realizados os leilões por fonte produtiva, ou outros leilões complementares para geração energética no período seco, além de ser necessário criar condições para que as usinas se conectem à rede e comercializem sua energia.

Apesar disso, quando observado o quadro da matriz energética nacional, em 2011 a participação da biomassa da cana-de-açúcar representou 15,7% do total, valor superior aos

14,7% da hidrelétrica (EPE, 2012), o que não implica em maior participação da biomassa de cana-de-açúcar sobre a produção de energia elétrica do que a fonte hidráulica. Isso significa afirmar que no ano de 2011, embora a biomassa de cana não possa ser considerada principal fonte de energia elétrica e tenha sofrido impacto da queda na safra, foi uma das mais relevantes fontes de energia do país, atrás somente do petróleo, com 38,6% (EPE, 2012).

O potencial de produção energética do sistema sucroenergético pode ser maior se os resíduos produtivos forem mais bem aproveitados, o que ampliaria a capacidade produtiva.

2.4 Resíduos da cana-de-açúcar e suas alternativas de destinação

A aplicação do conceito de desenvolvimento sustentável não envolve apenas mudanças na matriz energética utilizada hoje, mas também questões como a gestão de resíduos dos mais variados, que podem inclusive ser reintroduzidos na cadeia produtiva e encontrar alguma finalidade mais eficiente que a utilizada até então.

Em consideração das necessidades de ampliação da capacidade de produção energética, outras fontes de energia, inclusive geradas a partir de resíduos, podem receber maior atenção no Brasil, tendo em vista tanto a contribuição que podem dar à ampliação da produção energética, como o efeito positivo que decorre da melhor destinação desses resíduos. Assim é o caso dos resíduos do setor sucroenergético.

Em relação aos resíduos do setor em questão, o quadro 4 apresenta os principais resíduos da produção de açúcar e etanol, além de uma caracterização que leva em conta as possibilidades de redução e reuso (CETESB, 2002).

RESÍDUOS DA CANA			EXEMPLOS DE MEDIDAS DE P+L	
RESÍDUO	ORIGEM	COMPOSIÇÃO	REDUÇÃO	REUSO
Água de lavagem da cana	Lavagem da cana antes da moagem.	Teores consideráveis de sacarose, principalmente no caso de despalha da cana com fogo. Contém matéria vegetal, terra e pedregulhos aderidos.	Eliminação da despalha com fogo reduz aderência de terra e pedregulhos, podendo haver dispensa da lavagem; Realização da lavagem em mesa separada daquela onde ocorre o desfibramento (evita perda de bagacilho aderido); Redução de vazão de água usada, através da remoção a seco de parte das impurezas.	Reciclagem no processo de embebição (permite recuperação de parte da sacarose diluída); Reciclagem no processo de lavagem (necessário tratamento para remoção de sólidos grosseiros e resíduos sedimentáveis, e eventualmente para remoção substâncias orgânicas solúveis);
Água de condensador barométrico e água condensada no evaporador	Concentração do caldo	Água contendo açúcares, arrastados em gotículas	Redução de perda do xarope: redução da velocidade do fluxo; redução da temperatura da água de condensação. Recuperação do xarope: uso de obstáculos que diminuam o arraste (separadores e recuperadores de arraste); aumento da altura dos evaporadores.	Reciclagem da água no próprio processo (atentando para o teor de açúcar). Reciclagem no processo, mas em outra etapa, como: embebição da cana; lavagem do mel após cristalização do açúcar; geração de vapor; lavagem de filtros; preparo de solução para caleagem.
Bagaço	Moagem da cana e extração do caldo	Celulose, com teor de umidade de 40% a 60%		Cogeração de energia elétrica; Obtenção de composto para uso como adubo; Produção de ração animal; Produção de aglomerados; Produção de celulose.
Torta de filtração	Filtração do lodo gerado na clarificação	Resíduos solúveis e insolúveis da calagem. Rico em fosfato.		Uso como condicionador do solo. Produção de ração animal.
Água de remoção de incrustações	Remoção química (soda ou solução de ácido clorídrico) de sais, na concentração do caldo (volume reduzido)	Variam muito, mas predomínio de fosfatos, sílica, sulfatos, carbonatos e oxalatos.		Pelo elevado teor de fosfato e pequena quantidade produzida, pode ser incorporado à vinhaça para uso como fertilizante. Uso como complemento da atividade em tratamento biológico de efluentes.

Água da lavagem das dornas	Lavagem dos recipientes de fermentação, para obtenção de álcool. É produzido em volume reduzido.	Semelhante à vinhaça, mas bem mais diluído. Representa cerca de 20% da vinhaça.	Uso como fertilizante (observar taxa de aplicação em função da composição e do tipo de solo).	
Vinhaça	Resíduo da destilação do melaço fermentado, para obtenção de álcool.	Alta DBO e DQO.		
Melaço	Fabricação de açúcar.	Alta DBO (>90.000 mg/l)	Praticamente todo usado na produção de álcool.	Produção de álcool; fabricação de levedura.
Ponta da cana	Corte da cana para moagem.	Alimento animal.		

Fonte: adaptado de Cetesb (2002).

Quadro 4 - Caracterização dos resíduos da cana.

O Quadro 4 indica qual destinação pode ser dada para esses resíduos, de acordo com os autores. Para as águas de lavagem e outros resíduos líquidos, à exceção das águas residuais domésticas, pode-se dar finalidade de fertirrigação, ou seja, utilizá-la para irrigar os solos de cultivo, com consequente deposição do material orgânico fertilizante. Para a maioria dos resíduos, as alternativas são mais de uma para cada um dos resíduos, sendo o estudo realizado em um contexto tecnológico já diferente do atual. Dentro de um contexto mais atualizado, as alternativas foram levantadas a partir de fontes científicas, como será detalhado posteriormente.

A biomassa passou a ser o foco para diferentes alternativas de geração de energia. Reis (2011, p. 59) apresenta os possíveis métodos de extração de energia da biomassa, ordenados em função da complexidade do processo envolvido, como segue:

- Combustão direta da biomassa natural.
- Combustão após passagem por um processo físico relativamente simples. Isso envolve a sua distribuição, serragem, compressão e secagem.
- Utilização de processos termodinâmicos para melhoria das características da biomassa como combustível, como, por exemplo, pirólise, gaseificação e liquefação.
- Utilização de processos biológicos, tais como os processos naturais da digestão anaeróbia e da fermentação que produzem gases e combustíveis líquidos úteis.

Quanto ao bagaço de cana, Burgi¹ (1995 apud FARINAS et al., 2008), afirma que de cada tonelada de cana moída na indústria obtêm-se 700 litros de caldo de cana e 300 kg de bagaço. Ele pode ser processado pelas quatro formas indicadas acima por Reis (2011), podendo gerar calor ou gases combustíveis, como no caso do hidrogênio (por meio da gaseificação) e do metano (por meio da decomposição anaeróbia).

Também do bagaço, bem como da palha, pode ser extraído o etanol celulósico. Segundo Marques (2008), estes dois subprodutos representam 2/3 da biomassa da cana-de-açúcar. A produção de etanol celulósico pela tecnologia enzimática, já ultrapassava em 2007 cerca de 220 litros de etanol por tonelada de bagaço de cana-de-açúcar em pesquisas da Petrobrás, com objetivo de alcançar a marca de 280 litros por tonelada de bagaço no mesmo equipamento (MARQUES, 2008).

A vinhaça foi tratada em processo biológico anaeróbio em estudos de Ribas et al. (2009), mostrando a possibilidade de geração de biogás, rico em metano, além do não lançamento deste resíduo diretamente no ambiente.

Em vista dessas afirmações, fica mais clara a importância da busca por alternativas para dar finalidade adequada aos resíduos do processo produtivo da cana-de-açúcar, as quais podem inclusive conferir à matéria-prima um novo papel na produção energética nacional. Diferentes alternativas de uso dos resíduos devem ser consideradas, e isso inclui as possibilidades menos tangíveis com os recursos tecnológicos presentes, como a participação de microorganismos que atuem sobre a biomassa convertendo energia química em energia útil (GRISOLI; COELHO; MATAI, 2009). Ao levar-se em consideração o cenário exposto acima, o levantamento bibliométrico focado em alternativas de destinação dos resíduos da cana-de-açúcar se justifica, como segue abaixo.

O caráter lignocelulósico dos resíduos da cana-de-açúcar permite a produção de diferentes insumos (MIRANDA, 2009), bem como a produção de energia. Nesse caso, no entanto, os custos são relativamente altos baseados nas tecnologias atualmente disponíveis (CARDONA; QUINTERO; PAZ, 2010), exceto para a combustão direta do bagaço, procedimento mais difundido entre as usinas. Por conta disso, as tecnologias que propõem diversificar os usos dos resíduos da produção sucroalcooleira se tornam mais importantes.

¹ BURGI, R. Utilização de resíduos culturais e de beneficiamento na alimentação de bovinos. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS DA FEALQ, 6., Piracicaba, 1995. **Anais...** Piracicaba-SP: FEALQ, 1995. p. 153-169.

A possibilidade de cogeração de energia, aliada à colheita mecanizada, mudaram radicalmente o significado desses resíduos principalmente nas duas últimas décadas (PIPPO et al., 2011). O processo ainda inicial de avanço de infraestrutura na agroindústria sucroenergética, no entanto, dificulta o uso em larga escala de alguns de seus resíduos como fonte de energia, caso das folhas e pontas descartadas na colheita, ou *Sugarcane Agricultural Residues* (SCAR), na sigla em inglês (PIPPO et al., 2011). Esse e outros estudos buscam, de algum modo, esclarecer processos e técnicas novos que podem viabilizar a utilização de tais resíduos.

Apesar de a biomassa da cana-de-açúcar em forma de bagaço ser atualmente utilizada em queima direta para produção de energia pela maioria das usinas (MIRANDA, 2009), é possível submeter tanto ela como os outros resíduos produzidos durante o processo a intervenções diferentes das sistematicamente utilizadas na atualidade. Nesse contexto, a produção agrícola de biomassa para produção de energia tem grande afinidade com os conceitos de sustentabilidade por ter impacto reduzido para o aquecimento global, além de promover o desenvolvimento rural em alguns casos (RENÓ et al., 2011). Além disso, algumas possíveis utilizações dessa biomassa requerem pequenas quantidades da mesma, o que pouco comprometeria sua utilização para a produção de etanol celulósico de segunda geração, quando da sua consolidação (PANDEY et al., 2000).

Há pesquisas científicas cujo propósito é levantar o *status* das tecnologias disponíveis para utilização dos resíduos produtivos da cana-de-açúcar, seja para resíduos e finalidades específicas (CARDONA; QUINTERO; PAZ, 2010; PIPPO et al., 2011), ou localidades específicas (BALAKRISHNAN; BATRA, 2011).

Por conta do histórico recente de pesquisas científicas na área, é necessário o esclarecimento do estado da arte em que se encontra a pesquisa das alternativas de utilização dos resíduos provenientes da cana-de-açúcar. Um levantamento bibliométrico nesse sentido deve também fornecer informações a respeito:

- da evolução histórica dessa produção científica disponível, indicando a partir das datas de publicação seu desenvolvimento e consolidação;
- da localidade geográfica foco dessas produções científicas, a partir das informações disponíveis na própria pesquisa;
- de possíveis distinções e categorizações das alternativas propostas, relacionadas à sua finalidade produtiva e ao resíduo que tratam.

O levantamento bibliométrico realizado está disponível no item 4, RESULTADOS.

2.5 Aspectos sociais do setor sucroenergético

No tocante aos aspectos sociais, são mais visíveis e prementes aqueles relacionados ao uso da mão de obra para processamento dos resíduos, ao desdobramento da destinação dos resíduos sobre a economia e sociedade local, além daqueles diretamente relacionados às implicações ambientais ou dela resultantes, como os impactos na saúde da população a longo prazo, por exemplo. Estes últimos são de complexidade maior e não foram abrangidos no modelo de análise utilizado, pela difícil mensuração e risco de considerar tais impactos sobre a tomada de decisão repetidas vezes.

Os aspectos sociais do setor têm desdobramentos diretos e indiretos sobre o processo decisório da gestão de seus resíduos. A mão de obra utilizada nas indústrias de processamento da cana-de-açúcar e no cultivo da matéria-prima também acaba sendo diretamente utilizada no processamento dos resíduos. Além disso, os desdobramentos da produção sucroenergética no entorno das unidades produtivas, social e economicamente, podem ser afetados pela escolha das diferentes alternativas de destinação dos resíduos.

Quando é relevante analisar a qualidade de emprego para os postos de trabalho criados, Balsadi e Gomes (2008) propõem o uso do Índice de Qualidade do Emprego (IQE). O IQE é composto por índices parciais de: rendimento, formalidade, educação e auxílios recebidos. O entendimento dos indicadores relevantes para a análise da qualidade do emprego, segundo Balsadi e Gomes (2008) permite ao gestor entender as carências e potencialidades da mão de obra utilizada pela usina. É relevante que o estudo contemple fatores sociais. Quando é possível esclarecer ainda na fase de projeto as características dos postos de trabalho atrelados, de modo a permitir a aplicação do IQE, o tomador de decisão pode acessar informações úteis para sua tomada de decisão. Para o caso dos projetos analisados, em geral ocorre apenas realocação de pessoas para cumprimento das novas atividades, sem que haja contratação de mais funcionários atrelados diretamente aos projetos. Não haveria, portanto, diferença de valores de IQE para os diferentes projetos e para o cenário atual.

Além das questões da mão de obra empregada, medidas para incentivar a produção familiar de matérias-primas para produção de biocombustíveis devem ser implantadas para que sua produção possa impactar positivamente no meio social rural (FIGUEIREDO; FARIAS FILHO, 2009). O selo Combustível Social, por exemplo, objetiva incluir agricultores familiares na produção de matéria-prima do biodiesel (FIGUEIREDO; FARIAS FILHO, 2009). Diferentemente do que ocorre com o biodiesel associado ao selo, o etanol de cana-de-açúcar oriunda predominantemente de grandes propriedades rurais monocultoras. Uma série de desdobramentos na economia local pode ocorrer quando as propriedades são concentradas entre poucos proprietários, como o aumento do valor das terras, o que contribui para um ciclo vicioso de concentração de terras (FIGUEIREDO; FARIAS FILHO, 2009). Ainda segundo os autores, a insegurança alimentar pode figurar como impacto negativo da produção de biocombustíveis e do bioetanol especificamente, por conta da substituição de lavouras destinadas à produção de alimentos para aquelas destinadas à produção de matérias-primas dos biocombustíveis. Embora tal risco deva ser considerado, a concentração geográfica da produção de cana-de-açúcar e a disponibilidade de pastagens improdutivas ou com baixa produtividade nessas regiões levam a crer que a agricultura canavieira não deverá impactar sobre a segurança alimentar nacional (NEVES; CONEJERO, 2010).

Ocorre uma tendência na agropecuária brasileira, inclusive no setor sucroenergético, de aumento das tecnologias poupadoras de mão de obra (LIBONI, 2009). Ilustra a interdependência dos fatores sociais e ambientais o fato de que o corte manual da cana-de-açúcar exige as queimadas, que permitem ao trabalhador entrar com maior segurança no canavial, bem como proporcionam maior produtividade do corte (LIBONI, 2009). Isso significa que o fim das queimadas implica mecanização das colheitas. Os desdobramentos, assim, são tanto nos aspectos ambientais como sociais.

Há uma tendência no Brasil de que seja mantida a incorporação de tecnologia, o que pode gerar menos empregos, porém de maior qualidade (LIBONI, 2009). O trecho abaixo indica a relevância das mudanças sociais resultantes da mecanização para os trabalhadores do setor, segundo Liboni (2009, p. 36), “a lavoura de cana e a produção do açúcar, do etanol e da energia gerarão oportunidades de trabalho mais qualificado, na operação de máquinas agrícolas e tarefas afins e nas atividades industriais”.

A questão das mudanças sociais decorrentes da mecanização no setor são de grande importância ao levar-se em conta o aspecto social na tomada de decisão dentro do setor. O trecho acima aborda um fenômeno que deverá ocorrer com mais intensidade: à medida que a

colheita passa a ser mecanizada, os resíduos da colheita (PIPPO et al., 2011) serão mais abundantes, e o uso da mão de obra no campo, menor. Comprovando a ideia de que menos empregos são gerados, com maior qualidade, é possível que novos postos de trabalho sejam gerados para atender a demanda de destinação daquele resíduo, sendo esses de maior qualificação e essencialmente inseridos no nível industrial da cadeia produtiva.

2.6 Responsabilidade social e o setor sucroenergético

O conceito de responsabilidade social empresarial (RSE) é incompleto, sendo para alguns a assunção e cumprimento de responsabilidades para além daquelas ditadas pelos mercados (BARON, 2001). Há ainda quem afirme que a ideia básica da responsabilidade social corporativa indica que as empresas e a sociedade estão entrelaçadas, e não são entidades distintas; o que leva a sociedade a ter certas expectativas para o comportamento apropriado do negócio e de seus resultados, com consequente necessidade das empresas de atender tais expectativas (WOOD², 1991 apud BARON, 2001).

A RSE, segundo seus partidários (BARON, 2001), vale-se de três argumentos para afirmar sua importância:

1. Princípios normativos demandam que haja redistribuição dentro e por parte das empresas;
2. Se as empresas não conhecerem as expectativas da sociedade em relação ao seu desempenho social, elas confrontarão ações governamentais contrárias aos seus interesses;
3. Empresas que voluntariamente realizarem ações em nome da RSE serão recompensadas no mercado ao terem, por exemplo, a demanda por seus produtos aumentada.

Assim, ainda segundo Baron (2001), as empresas podem adotar políticas balizadas na RSE por diferentes motivos, que vão desde seu interesse em aumentar os lucros, até por razões altruísticas, passando inclusive pelo interesse em prevenir riscos e pressões externas de grupos cujos interesses são conflitantes e/ou prejudicados pelas ações da empresa. Em outro estudo,

² WOOD, D. J. Corporate Social Performance Revisited, *Academy of Management Review*, v. 18, p. 691-718, 1991.

Baron, Harjoto e Jo (2011) afirmam que o desempenho financeiro empresarial (DFE) é na maioria das vezes não relacionado ao desempenho social empresarial (DSE), o que não significa que o segundo não cause impacto no primeiro, vez que se trata de uma relação de equilíbrio entre as duas variáveis. Ainda, os mesmos autores afirmam que o DFE é afetado negativamente pela pressão social, que representa uma terceira variável considerada em seus estudos e compreende as ações de ONGs, governos e ativistas prejudiciais aos interesses da empresa. Por fim, a pressão social afeta positivamente o DSE

Outras conclusões relevantes para o presente estudo, extraídas do estudo de Baron, Harjoto e Jo (2011) dizem respeito às diferenças possíveis para o relacionamento das três variáveis consideradas – DFE, DSE e pressão social –, que (a) podem ocorrer ao longo do tempo, em razão de mudanças políticas e sociais no país; (b) ou em razão do setor em que se encontra a empresa analisada: no mercado consumidor final, a relação entre DFE e DSE tende a ser positiva, e no mercado industrial, tende a ser nula ou negativa. Os autores deixam claro que as conclusões expostas não necessariamente se aplicam a empresas analisadas isoladamente, por se referirem às análises feitas sobre amostras de mercado e com instrumentos que não permitiram acessar as relações profundas e específicas entre as três variáveis analisadas. Para o caso das empresas do setor sucroenergético, tais conclusões são relevantes ao serem confrontadas com suas políticas de responsabilidade socioambiental e ponderadas pelo fato de que se trata de um estudo realizado sobre a realidade norteamericana. Portanto, embora não haja correlação direta ou a mesma seja negativa entre DSE e DFE para empresas industriais, as alterações políticas e sociais do país, as especificidades das usinas sucroenergéticas, ou ainda a aproximação das mesmas aos mercados consumidores finais, são elementos que podem conferir papel de impacto maior do DSE sobre o DFE.

É possível ainda estabelecer um paralelo entre os estudos de Baron, Harjoto e Jo (2011) e Schaffel e La Rovere (2010): ao se analisar a evolução das políticas setoriais em vistas da sustentabilidade, no setor sucroenergético, expõe-se um processo de fortalecimento de políticas de responsabilidade socioambiental à medida que a sociedade, os governos e mercados consumidores passaram a dar mais atenção para tais questões dentro do setor (SCHAFFEL; LA ROVERE, 2010). Portanto, ilustra-se assim, dentro do setor ora tratado, o relacionamento positivo entre pressão social e DSE (BARON; HARJOTO; JO, 2011).

O conceito de RSE deve ser associado diretamente à eco-eficiência para que o setor privado contribua com todo seu potencial para além da redução de desperdícios, alcançando-se assim o conceito de eficiência eco-social (SCHAFFEL; LA ROVERE, 2010), que implica em

produzir mais com menos, gerando menos resíduos, ao mesmo tempo que se consideram os direcionamentos da responsabilidade social. Schaffel e La Rovere (2010) realizam seus estudos comparando a realidade brasileira para o etanol e para o biodiesel: para o primeiro, há ainda o que avançar, enquanto que o segundo demonstra poder ser o início do desenvolvimento da eficiência eco-social, caso algumas contradições sejam superadas. Assim, o estudo dos autores se torna relevante por indicar a importância de levar-se em consideração aspectos mais amplos, tanto da RSE como das políticas ambientais, para que não haja inconsistências nas práticas das empresas ligadas à geração de bioenergia.

2.7 Análise de indicadores em sustentabilidade

A necessidade de assegurar sustentabilidade e comercialidade em um mercado de bioenergia em franco crescimento é conhecida por diversos grupos relacionados ao setor (DAM; JUNGINGER; FAAIJ, 2010). Segundo os mesmos autores, o estudo de padrões de desenvolvimento, critérios e princípios para esclarecer a sustentabilidade da produção de biocombustíveis já vem sendo desenvolvido. Nesse estudo, os autores contribuem com o desenho de uma visão geral das propostas e iniciativas em vistas da criação de princípios, métricas de análise e regulamentação para bioenergia, sob diferentes escopos de análise. Em um padrão, princípios são traduzidos em critérios que devem descrever as possibilidades de medidas tanto em curto prazo como em médio prazo para intervenções (DAM; JUNGINGER; FAAIJ, 2010). No entanto, é necessário que organizações relacionadas, inclusive internacionais, concatenem seus esforços para que haja uma métrica de avaliação em sustentabilidade desses projetos globalmente aceita, especialmente se essa métrica será utilizada em certificações ou diretrizes de comercialização desses biocombustíveis, sem desconsiderar que as limitações de dados e modelagens já dificultam a avaliação de muitos indicadores de sustentabilidade (WILLIAMS et al., 2009). Um padrão que objetiva garantir sustentabilidade do etanol produzido no Brasil já foi elaborado, pela companhia *Greenergy*, para o etanol a ser utilizado no Reino Unido (DAM; JUNGINGER; FAAIJ, 2010). A companhia SEKAB desenvolveu um modelo de sete critérios análogo ao modelo supracitado, dessa vez para o etanol produzido no estado de São Paulo, com destino à Suécia (SEKAB, 2009).

Em relação aos padrões de classificação em agricultura, as atenções estão mais voltadas às *commodities* e à busca de sua sustentabilidade (DAM; JUNGINGER; FAAIJ, 2010), o que pode contribuir para a análise com foco na sucroenergia brasileira. Há ainda, segundo os autores, iniciativas como a *GlobalGAP*, que trata da sustentabilidade dos processos estritos à área de cultivo: desde a obtenção da semente até o momento em que o produto deixa a propriedade rural. Já para as condições sociais da sustentabilidade, os autores citam os padrões ISO, bem como a base ETI (Ethical Trading Initiative) de códigos desenvolvida especificamente para salvaguardar condições adequadas de trabalho, a partir de contribuição conjunta de organizações não-governamentais, empresas e sindicatos. (DAM; JUNGINGER; FAAIJ, 2010).

Já para a análise das emissões de carbono, a metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV) é utilizada para elaboração de padrões e indicadores, por contemplar as emissões durante todo o processo de produção do biocombustível (DAM; JUNGINGER; FAAIJ, 2010).

Há ainda outras ferramentas de análise com escopo mais amplo, mas que são vistas como ferramentas pouco científicas (VAN BELLEN, 2004). É o caso do *Ecological Footprint Method*, ou pegada ecológica, que se propõe a analisar o espaço ecológico necessário para a manutenção da atividade humana. Apesar de não ser essencialmente científico, o autor afirma que esse e outros métodos podem servir de embaixadores, com seus critérios de análise, para que outros modelos sejam criados. Os trabalhos relatados conduzem pesquisas sobre esses modelos, e auxiliam, assim, na busca por um modelo mais próximo do ideal.

Além dos modelos de análise citados, o Banco Interamericano para o Desenvolvimento (BID) propõe e disponibiliza um *scorecard* qualitativo para análise de indicadores de sustentabilidade em projetos de biocombustíveis (IDB, 2009). Esse e outros métodos podem ser úteis como embaixadores de análises qualitativas referentes às alternativas produtivas dos subprodutos paralelamente à metodologia de Karmperis et al (2012).

O mesmo ocorre com os padrões de produção Bonsucro (2011), medidos por indicadores de sustentabilidade desenvolvidos sob consenso internacional. Especialmente nesse caso, há perspectiva ampla de uso dentro do setor, vez que foi desenvolvido especialmente para o mesmo. Para que uma unidade sucroenergética tenha a referida certificação, é necessário estar de acordo com ao menos 80% dos indicadores elencados e dos requisitos da cadeia de custódia, sendo os indicadores subdivididos em cinco princípios (BONSUCRO, 2011):

1. Cumprir a Lei.
2. Respeitar os direitos humanos e trabalhistas.
3. Gerenciar eficiências de insumos, produção e processamento de modo a aumentar a sustentabilidade.
4. Gerenciar ativamente a biodiversidade e serviços do ecossistema.
5. Melhorar constantemente as áreas chaves do negócio.

Além de contribuir com a listagem de indicadores aplicados às usinas, o relatório de padrões BONSUCRO (2011) disponibiliza um método de cálculo de emissão de gás carbônico que pode ser útil no acesso a essa informação durante as análises.

O uso de indicadores adaptados pode ser útil para indicar o quanto determinados padrões de sustentabilidade são atendidos no projeto, o que auxilia a suprir a carência de um modelo de acesso às externalidades nos projetos de resíduos sucroenergéticos, seguindo uma triangulação metodológica (JICK³, 1979 apud JACK; RATURI, 2006). Estabelecer uma maneira de acessar as questões socioambientais dos projetos auxilia na resolução dos objetivos 6, 7, 8 e 9 previamente estabelecidos. Pelo fato de todos os modelos de padrões de indicadores disponíveis não terem sido desenvolvidos para projetos de gestão de resíduos no sistema sucroenergético especificamente, adaptações poderão ser necessárias, no sentido de considerar apenas aqueles indicadores aplicáveis aos projetos. Dentro de uma análise mais ampla, os indicadores Bonsucro (2011) e IQE (BALSADI; GOMES, 2008) são aplicáveis à usina sucroenergética como um todo, e não apenas ao projeto de reaproveitamento de resíduos. Isso significa que, embora muitos aspectos não possam ser considerados ou não sejam relevantes na análise de projetos de reutilização dos resíduos, são aplicáveis ao sistema em que se inserem aqueles projetos, sendo que essas análises mais amplas fogem do escopo do presente trabalho.

³ JICK, T.D. Mixing qualitative and quantitative research methods: triangulation in action. **Administrative Sciences Quarterly**, v. 24, n. 4, p. 602-611, 1979.

2.8 Avaliação de externalidades em projetos de gestão de resíduos no setor sucroenergético

Para o modelo de análise de viabilidade de Karmperis et al (2012) que será utilizado, é necessário acessar as externalidades positivas e negativas relativas aos projetos de gestão de resíduos analisados. Diferente do que ocorre com outras áreas de interesse como a gestão da rede de abastecimento de água urbana (MARLOW et al., 2011), a gestão de resíduos e a análise de projetos nesse âmbito, dentro do sistema sucroenergético, não dispõe de uma metodologia consolidada e publicada de levantamento e análise das externalidades envolvidas nos projetos.

Externalidades podem ser definidas como os custos e benefícios externos que surgem quando atividades sociais e econômicas de um grupo de pessoas têm impacto sobre outro grupo, ou quando o primeiro grupo falha em contabilizar todo seu impacto (EXTERNE⁴, 1995 apud ESHET; AYALON; SHECHTER, 2006). Ainda segundo Eshet, Ayalon e Shechter (2006), as externalidades podem surgir de diferentes atividades ao longo do ciclo de vida do produto e implicam em desdobramentos globais, regionais e locais, desde a saúde humana até os desequilíbrios ambientais. A necessidade de pensar a questão da Sustentabilidade em escala global (HALE; MAUZERALL, 2004) justifica a importância que deve ser dada às externalidades em projetos de gestão de resíduos. Em todos os projetos de gestão de resíduos, as externalidades são geradas nos estágios de coleta, transporte e disposição dos resíduos (ESHET; AYALON; SHECHTER, 2006), sendo que por disposição depreende-se inclusive o processamento daquele resíduo. Tais externalidades são influenciadas pela composição do resíduo, processos de tratamento e características da planta industrial do local em que são processados (ESHET; AYALON; SHECHTER, 2006), e podem envolver aspectos como a emissão de GEEs, poluição do ar, solo e água, geração de barulho, odor ou poluição visual, por exemplo. Além disso, projetos de gestão de resíduos podem implicar em externalidades positivas, seguindo os mesmos critérios, quando os resíduos passam a ser mais bem processados e aproveitados, e deixam de representar um passivo ambiental para as empresas.

⁴ EXTERNE. Extern: externalities of energy. European Commission, Directorate-General XII. Luxembourg: **Science Research and Development**, 1995.

Para os projetos de gestão de resíduos em uma usina de cana-de-açúcar, considerando os apontamentos de Eshet, Ayalon e Shechter (2006), a etapa de coleta deverá gerar externalidades quantificáveis apenas:

- (a) se equipamentos que consumam montante considerável de energia precisarem ser utilizados;
- (b) Se mão de obra precisar ser utilizada especificamente para a coleta, nesse caso os impactos ocupacionais poderão ser verificados ou considerados;

Isso se dá pelo fato de os insumos serem processados dentro da própria planta industrial, sendo a coleta bastante facilitada. Para a etapa de transporte dos resíduos, devem ser considerados aspectos como:

- (a) Distância total percorrida no transporte do resíduo;
- (b) Consumo de combustível do veículo utilizado, considerando aspectos como o peso do mesmo somado ao peso do resíduo e a velocidade praticada;
- (c) O impacto dos veículos nas vias públicas de transporte.

Já para a etapa de processamento e disposição dos resíduos, serão consideradas externalidades oriundas de:

- (a) Consumo de energia necessário para a planta e equipamentos utilizados no processamento dos resíduos;
- (b) Uso de mão de obra no processamento dos resíduos e os possíveis desdobramentos do contato dessas pessoas com os resíduos, em relação à saúde ocupacional;
- (c) Captura ou prevenção de emissão de poluentes e GEEs, sendo esta uma das externalidades positivas mais impactantes dos projetos de gestão de resíduos ora considerados.

Segundo Eshet, Ayalon e Shechter (2006), não há solução única para os resíduos, sendo assim há uma necessidade de contabilizar adequadamente para que se contribua em termos monetários de cada alternativa para a economia em geral, em todos os contextos propostos para uma ótica global da ação local (HALE; MAUZERALL, 2004). Combinando custos e benefícios ambientais com os custos diretos, possibilita-se uma comparação mais ampla das alternativas disponíveis, muito embora seja problemático obter alcance amplo dos impactos, completa e perfeitamente quantificados em termos monetários que possam ser avaliados

quantitativamente, por conta da falta de informações a respeito dos impactos ambientais, além de incertezas relativas aos preços e à valoração desses impactos (ESHET; AYALON; SHECHTER, 2006). Um detalhamento das variáveis que puderam ser consideradas na busca por externalidades dos projetos consta no apêndice D. Os valores levantados em Eshet, Ayalon e Shechter (2006) são oriundos de diferentes metodologias que se propõem a buscar um valor monetário para os gases e poluentes em questão.

2.9 Análise de benefício/custo e a metodologia *risk-based multi-criteria assessment*

Os problemas são amplos e complexos nas organizações, envolvendo riscos em incertezas, o que implica na necessidade de organizar e estruturar de maneira formal o processo de decisão, de modo que por vezes é relevante também que os tomadores de decisão conheçam as demais alternativas, além daquela selecionado ou apresentada como a decisão ótima (SHIMIZU, 2001).

O sistema de apoio à decisão (DSS) abrange, portanto, um “conjunto de procedimentos [...] baseados em modelos para processar dados e analisar problemas, tendo como finalidade dar assistência aos administradores no processo de decisão” (SHIMIZU, 2001, p. 52).

Os métodos multi-critérios de tomada de decisão consistem em ferramentas que auxiliam os tomadores de decisão a embasar suas escolhas, a partir de padrões de avaliação específicos (KARMPERIS et al., 2012). Diferentes metodologias de análise de viabilidade estão à disposição com objetivo de auxiliar na busca por melhores alternativas dentro dos critérios de sustentabilidade. Estudos enfocam diferentes setores e objetos de análise, como a gestão de resíduos sólidos municipais (HUNG; MA; YANG, 2007) ou escolha de localização de aterros (SENER et al., 2010). Para o primeiro caso, os autores desenvolvem um modelo de consenso para análise dos projetos de gestão de resíduos sólidos municipais. Para o segundo, os autores combinam a análise hierárquica de processos (AHP) ao método *geographic information system* (GIS), para auxiliar os tomadores de decisão na seleção do local mais adequado para aterros. Os modelos de análise de viabilidade de projetos e suporte à decisão disponíveis, contudo, não contemplam a gestão de resíduos agroindustriais da cana-de-açúcar. A análise de

benefício/custo busca demonstrar, a partir do indicador B/C, a relação, ou proporção, de “entradas” e “saídas” de um projeto, ou benefícios e custos (EC, 2008). Para tanto, é necessário que se realize um estudo dos projetos, segundo algum critério.

O modelo mais abrangente, dentre as metodologias disponíveis, é a denominada “*Risk-Based Multi-Criteria Assessment*” (RBMCA) que se adequa melhor à proposta do presente estudo por (KARMPERIS et al., 2012):

- Ser uma metodologia construída especificamente para a análise de viabilidade em projetos de gestão de resíduos;
- Contemplar diferentes aspectos do projeto, desde o risco envolvido até seus desdobramentos sociais, econômicos, financeiros e ambientais, em um contexto mais amplo, seguindo as diretrizes propostas pela Comissão Européia (EC, 2008).
- Ser atualizada e de publicação internacional.
- Permitir a utilização de ferramentas estatísticas, a Simulação de Monte Carlo, e da Matemática Financeira na construção do sistema de apoio à tomada de decisão, além de instruir a consideração de aspectos qualitativos, por estar associada à metodologia de Análise de Benefício/Custo proposta pela Comissão Européia (EC, 2008). Com isso, o processo decisório vale-se de mais informações, tornando-se mais claro para os gestores.
- Ter relevância tanto científica, por contribuir para o desenvolvimento dos conhecimentos em Gestão de Resíduos, como prática, por permitir o acesso a instrumentos pouco difundidos e conhecidos, de maneira mais compreensível pelo tomador de decisão.
- Por permitir que, mesmo com acesso a ferramentas menos difundidas, o tomador de decisão mantenha-se responsável e central no processo decisório dentro da organização. Isso ocorre porque a determinação das variáveis, das alternativas e dos critérios de escolha é feita com acompanhamento do gestor.

A Simulação de Monte Carlo é um método desenvolvido pelos pesquisadores Metropolis e Ulam (1949), com o propósito inicial de buscar um tratamento estatístico a problemas relacionados essencialmente às ciências naturais, especificamente à Física (METROPOLIS; ULAM, 1949). Os autores afirmam haver necessidade, em algumas situações teóricas, de que

o pesquisador possa simular ambientes, o que significa alterações em variáveis, dentro de um grupo finito de valores possíveis que tais variáveis podem assumir. Trata-se de um procedimento que se encontra no meio termo entre as simulações reais, que costumam ocorrer em ambientes controlados e envolver um número menor de variações possíveis; e os estudos envolvendo limite e derivações das equações (METROPOLIS; ULAM, 1949). O método consiste em alguns passos já especificados na RBMCA, de Karmperis (2012), e pressupõe a existência de alterações nas variáveis (*inputs*) que compõem determinada equação (*outputs*). Um modelo é desenvolvido, que contém certas variáveis, as quais, por sua vez, possuem diferentes valores possíveis, que representarão isoladamente cada uma das rodagens da simulação (KWAK; INGALL, 2007). Depois de rodadas as simulações, o pesquisador pode chegar a informações estatísticas que se relacionam ao comportamento da equação analisada ao longo das alterações de suas variáveis (METROPOLIS; ULAM, 1949).

Atualmente, a aplicação do método de Monte Carlo permite alguns benefícios aos tomadores de decisão, no âmbito das análises de projetos em situações reais (KWAK; INGALL, 2007): auxilia os gestores a justificar seus argumentos com base em dados quantitativos mais aprofundados e que consideram o risco, um elemento relevante no ambiente real; traz aos gestores a prática de levar em consideração o risco e o comportamento dos projetos ao longo das variações a que podem se submeter; pode ser facilmente aplicada com ajuda de computadores e algum treinamento. Desde o início da aplicação da Simulação de Monte Carlo, aliás, fez-se necessário o uso de computadores para realizar o grande número de simulações necessárias para que o método seja aplicado (METROPOLIS; ULAM, 1949). Embora esse método traga alguns benefícios relevantes, seu uso ainda não foi disseminado a ponto de se consolidar como o método mais consagrado de auxílio à tomada de decisão na análise de projetos no “mundo real” (KWAK; INGALL, 2007). Um dos motivos apontados pela pesquisa dos autores é a ausência, até recentemente, de softwares adequados e acessíveis no mercado dedicados à Simulação de Monte Carlo, o que acabava por inviabilizar seu uso para a maioria das empresas e organizações.

O uso da Simulação de Monte Carlo é especialmente útil na análise de projetos quando se compara projetos com VPL próximo, ou mesmo VPL médio próximos, mas com variâncias distintas (KWAK; INGALL, 2007), de maneira que os resultados da simulação permitem verificar diferenças maiores entre os projetos. São passíveis da utilização desse método mesmo situações em que as variáveis não são facilmente quantificáveis ou diretamente

mensuráveis, como os impactos que o barulho pode causar nas vizinhanças, conforme estudos de Gilchrist, Allouche e Cowan (2003⁵, apud KWAK; INGALL, 2007).

Em razão das possíveis desvantagens e dificuldades na aplicação do método, frutos de seu processo de desenvolvimento ainda inacabado, espera-se que mais trabalhos criativos possam dar solução a tais barreiras e facilitar sua disseminação (KWAK; INGALL, 2007). Uma desvantagem apontada pelos autores, além da dificuldade computacional recentemente superada, refere-se a projetos com duração muito prolongada. Ainda segundo os autores, como as simulações são realizadas aleatoriamente, é possível que o resultado não leve em consideração as possíveis alterações no comportamento das variáveis nos períodos finais do projeto. Em situações reais, quando determinado projeto apresentar-se inviável em determinado momento, é provável que seu gestor tome decisões e realize ações que levarão o projeto a tornar-se viável novamente, algo que dificilmente pode ser considerado em um modelo quantitativo de simulação, como ocorre com o método. Além disso, Kwak e Ingall (2007) reforçam que embora o método mostre-se poderoso para trazer à tona o risco, a qualidade das informações depende ainda da qualidade das informações que alimentam o modelo.

Em complemento às informações obtidas com a Simulação de Monte Carlo e para ampliar as informações disponíveis a respeito dos projetos analisados, o presente trabalho considera também a análise de sensibilidade das variáveis sobre as equações de B/C dos projetos. O intuito em incluir a análise de sensibilidade dentro do processo de avaliação das alternativas, em complemento ao proposto por Karmperis (2012) é apontar, de maneira geral, algumas das variáveis de maior impacto sobre o resultado final do coeficiente B/C dessas alternativas, ou indicar variáveis que têm pouco impacto, dentro do modelo de simulação construído, a despeito do que se podia esperar de início.

Estamos em um mundo de incertezas, em que as ocorrências futuras e suas condições são, na maioria dos casos, impossíveis de se prever (JOVANOVIĆ, 1999). A necessidade de tomar decisões apropriadas e embasá-las leva o homem a buscar meios para aproximar seus critérios de decisão àqueles reais, pois está claro que tomadores de decisão sobre investimentos, por exemplo, nunca têm a condições de certeza, segundo o mesmo autor.

Os testes de sensibilidade medem o impacto no resultado final de uma equação oriundo das alterações nas variáveis que a compõem (RAFTERY, 2003). Para realizar a análise de

⁵ GILCHRIST, A.; ALLOUCHE, E.; COWAN, D. Prediction and Mitigation of Construction Noise in an Urban Environment . **Canadian Journal of Civil Engineering** . v.30, n.4, p. 659 , 2003.

sensibilidade, é necessário que tais testes sejam realizados e, por consequência das rodagens no modelo de simulação de Monte Carlo, já estão disponíveis os resultados desse teste, que podem ser acessados pelo tomador de decisão. Entre as vantagens do uso da análise de sensibilidade, Raftery (2003) e Jovanovic (1999) citam a facilidade e rapidez de análise dos dados, a possibilidade de reconhecer incerteza nas variáveis de *input*, e a possibilidade de verificar como o *output* será influenciado por suas variáveis, seu propósito maior. Além disso, Raftery (2003) aponta ainda desvantagens no uso dessa técnica, que consistem na impossibilidade de levar em conta as probabilidades em intervalos dos *inputs* ou *outputs* e no fato de ela não disponibilizar um retrato probabilístico da exposição ao risco, dentre outros. Assim como no caso da Simulação de Monte Carlo, é necessário dispor de ferramentas computacionais para que se possa rodar os testes de sensibilidade (METROPOLIS; ULAM, 1949; JOVANOVIĆ, 1999).

Um dos propósitos básicos da análise de sensibilidade é permitir não apenas a visualização do impacto de mudanças em diferentes parâmetros sobre os valores de determinados critérios, mas permitir a compreensão do impacto dessas mudanças, mas também permitir a visualização de valores mínimos e máximos que os *inputs* podem assumir para que o *output* se mostre viável, no caso de ser aplicado à análise de viabilidade de projetos (JOVANOVIĆ, 1999). Embora tal possibilidade seja relevante em estudos de viabilidade, fugiria ao propósito do presente trabalho e da aplicação da metodologia RBMCA analisar isoladamente os valores mínimos e máximos que as variáveis poderiam assumir para manter viável o projeto analisado, e a factibilidade desses intervalos. Portanto, os testes de sensibilidade serão utilizados no presente estudo para que se possa visualizar quais variáveis têm maior relevância na composição do resultado final do coeficiente B/C dos projetos.

A proposta de disponibilizar uma metodologia como a RBMCA surgiu da necessidade de analisar projetos de gestão de resíduos, como os propostos no presente trabalho, segundo critérios amplos de benefício/custo, contemplando inclusive aspectos socioambientais (KARMPERIS et al., 2012). A análise de viabilidade segundo o indicador de benefício/custo (ABC) é objeto de diretrizes sugeridas pela Comissão Europeia (EC, 2008), para organizar e disponibilizar uma metodologia coerente de ABC. Nesse ponto, a RBMCA se insere e propõe um método de análise dos coeficientes de B/C dos projetos considerando multi-critérios, inclusive aqueles baseados em risco (KARMPERIS et al., 2012). Segundo os mesmos autores, a RBMCA deve ser utilizada no terceiro passo do processo de ABC proposto pela Comissão Europeia (EC, 2008), composto pelos seguintes passos:

1. Primeiro passo: apresentação e discussão do contexto socioeconômico e objetivos;
2. Segundo passo: identificação clara do projeto;
3. Terceiro passo: estudo de viabilidade do projeto e das alternativas;
4. Quarto passo: análise financeira do projeto selecionado;
5. Quinto passo: análise econômica do projeto selecionado;
6. Sexto passo: avaliação do risco do projeto.

Todos os aspectos financeiros, econômicos, socioambientais e de risco podem ser contemplados na metodologia RBMCA, que auxilia, portanto, no desenvolvimento da análise B/C como um todo, segundo a metodologia presentemente utilizada (KARMPERIS et al., 2012). Por conta disso, para os objetivos propostos no presente estudo, a RBMCA, aliada à apresentação de aspectos socioambientais não considerados no modelo de simulação foram os procedimentos adotados para realizar uma análise de viabilidade dos projetos considerados levando-se em conta o maior volume de informações sobre aspectos socioambientais e econômicos possível a partir de uma triangulação metodológica (JICK⁶, 1979 apud JACK; RATURI, 2006).

⁶ JICK, T.D. Mixing qualitative and quantitative research methods: triangulation in action, **Administrative Sciences Quarterly**, v. 24, n.4, p. 602-611, 1979.

3 MÉTODO

As questões referentes ao método da pesquisa serão apresentadas da seguinte maneira:

1. Os aspectos gerais, que envolvem toda a pesquisa;
2. Os aspectos referentes à revisão bibliográfica e ao levantamento bibliométrico;
3. Os aspectos referentes às entrevistas realizadas para obtenção de dados, tanto na usina como com os consultores;
4. A metodologia RBMCA, seus passos de aplicação e os passos precedentes, necessários até sua aplicação.

3.1 Aspectos Gerais

De acordo com Cooper e Schindler (2003), a pesquisa em Administração lida com ambientes não controlados, questões humanas e variáveis não conhecidas muito mais comumente do que em outras áreas de pesquisa científica. Além disso, os autores afirmam que os resultados das pesquisas muitas vezes não são diretamente publicados, pois estão relacionados a interesses econômicos de organizações, o que dificulta a obtenção de dados. Esse fenômeno ocorre também nesta pesquisa, uma vez que os dados obtidos com testes de produtividade e aspectos sustentáveis podem ocasionalmente estar relacionados a informações sigilosas das empresas do setor.

A denominação de estudo descritivo-exploratório é a mais adequada para a pesquisa em questão, por se propor a descobrir respostas sobre *quais* alternativas de uso dos subprodutos do sistema sucroenergético são mais adequadas do ponto de vista da sustentabilidade, sem se ater a responder as razões físico-químicas que originam a produtividade e outras características de cada alternativa, considerando ainda o fato de tal área de pesquisa ser recente (COOPER; SCHINDLER, 2003).

Deve ainda ser classificada como uma pesquisa aplicada, quali-quantitativa, por tratar de elementos que envolvem variáveis de caráter qualitativo, bem como aspectos de classificação, identificação, caracterização e análises econômicas de viabilidade, de caráter quantitativo (HAIR JR et al., 2003). O aspecto qualitativo reflete a necessidade de levantar diferentes

alternativas de utilização dos subprodutos, suas características relativas à aplicação dos métodos, diretrizes para o setor em vistas da sustentabilidade, ou seja, dados que refletem *o que* está disponível de alternativas aos subprodutos (COOPER; SCHINDLER, 2003).

A coleta de dados primários foi realizada da seguinte maneira, tendo em vista as diferentes informações buscadas:

- Entrevistas semiestruturadas: realizadas com gestores e técnicos de usinas do setor sucroenergético, da região de Ribeirão Preto, com responsáveis por políticas públicas no setor, bem como com pesquisadores sobre o tema, em busca de informações gerais sobre os resíduos gerados, seu gerenciamento e as possibilidades de utilização tanto na geração de energia como em outros destinos produtivos;
- Formulários: são utilizados para facilitar a coleta de dados quantitativos envolvendo as variáveis de caracterização das alternativas, como volumes, capacidade de produção, poder energético, custos, tempo de produção, emissões atmosféricas, emissões de resíduos, valores de investimento, retorno financeiro, geração de empregos, dentre outras. Abordar tais variáveis é passo necessário e comum em estudos que se propõem a esclarecer a produtividade de processos agroindustriais, como é o caso da produção sucroenergética. O mesmo processo ocorre em outros estudos (MIRANDA, 2009; WILLIAMS et al., 2009)

3.2 Revisão bibliográfica e o levantamento bibliométrico

A revisão bibliográfica foi realizada em material disponível em periódicos nacionais e internacionais, livros, teses, dissertações, trabalhos apresentados em eventos acadêmicos, bem como em publicações técnicas e oficiais que puderam esclarecer e informar sobre procedimentos na área da presente pesquisa. O levantamento bibliométrico também foi realizado sobre materiais disponíveis nas fontes supracitadas

Por meio da revisão bibliográfica foi apresentada a situação atual da matriz energética brasileira, com a contribuição do setor sucroenergético na mesma, para que fique mais claro o impacto em variáveis macroeconômicas que eventuais mudanças nos processos produtivos do

setor podem causar. Tais impactos também estão diretamente relacionados à sustentabilidade de um setor (HALE; MAUZERALL, 2004).

A partir da revisão bibliográfica e da coleta de dados primários serão identificados e caracterizados, dentro das possibilidades das informações, os resíduos gerados, as alternativas de utilização para aproveitamento energético, vantagens e desvantagens, bem como demais informações necessárias para se proceder à comparação das alternativas. Esses dados foram tratados como variáveis de análise e puderam assumir valores monetários ou unidades específicas.

O levantamento bibliométrico foi realizado em fontes de publicações científicas disponíveis via *web*, a saber: Science Direct, Wilson Web, Scielo e Scopus. Por se tratar de uma área de pesquisa recente, esperava-se que a pesquisa nessas fontes pudesse prover de publicações científicas para haver um esclarecimento do panorama da pesquisa na área. As buscas na biblioteca eletrônica Scielo se justificam pelo fato de haver uma predominância de publicações voltadas para a realidade brasileira, como observado previamente nas outras bases de dados, apesar de não se tratar de uma base de dados *stricto sensu*.

Dentro das fontes de publicação científica supracitadas, as pesquisas foram realizadas com a inserção de dois termos, associados pelo mecanismo de busca “AND”: “*sugarcane*” e “*waste*”, ou “cana-de-açúcar” e “resíduos”, para o caso de pesquisa visando produção científica brasileira. Dentre todas as publicações disponibilizadas, a leitura do resumo foi o critério utilizado para estabelecer quais publicações tratavam de alternativas de utilização daquele determinado resíduo e quais abordavam outros aspectos não contemplados por esta pesquisa.

Para levantamento do conjunto de artigos que seriam objeto de análise, foram estabelecidos alguns critérios de adequação:

- Artigos que abordem alguma alternativa de destinação produtiva a qualquer dos resíduos gerados a partir da produção sucroenergética.
- Artigos que comparem os resultados de utilização desses resíduos com os de outros sistemas produtivos, para as tecnologias ou processos abordados.
- Não fizeram parte do grupo de artigos analisados: artigos cujo objeto de análise fosse o panorama da pesquisa para algum resíduo da cana específico, a comparação de alternativas já consolidadas em vistas de suas produtividades médias, ou ainda alternativas tecnológicas de aumento incremental na produtividade da atividade fim do

sistema sucroenergética, muito embora possam ter contribuído para o entendimento do estado-da-arte da pesquisa em questão.

Para levantamento do conjunto de artigos que seriam objeto de análise, foram estabelecidos alguns critérios de adequação:

- Artigos que abordem alguma alternativa de destinação produtiva a qualquer dos resíduos gerados a partir da produção sucroenergética.
- Artigos que comparem os resultados de utilização desses resíduos com os de outros sistemas produtivos, para as tecnologias ou processos abordados.
- Não fizeram parte do grupo de artigos analisados: artigos cujo objeto de análise fosse o panorama da pesquisa para algum resíduo da cana específico, a comparação de alternativas já consolidadas em vistas de suas produtividades médias, ou ainda alternativas tecnológicas de aumento incremental na produtividade da atividade fim do sistema sucroenergética, muito embora possam ter contribuído para o entendimento do estado-da-arte da pesquisa em questão.

3.3 Entrevistas

A técnica mais adequada para obtenção desses dados, além da análise de dados secundários, é a entrevista com profissionais relacionados ao setor, e essa técnica é essencialmente qualitativa, segundo Cooper e Schindler (2003). O aspecto qualitativo foi predominante em uma primeira parte da pesquisa, responsável por delinear os parâmetros que seriam considerados nas análises de viabilidade. Essa abordagem caracteriza a pesquisa com um desenho em dois estágios (COOPER; SCHINDLER, 2003). Todas as entrevistas com consultores foram realizadas preservando-se suas identidades. Isso ocorreu para que pudessem ser evitados possíveis conflitos de interesse em relação à usina, pois os consultores atuam como prestadores de serviço às usinas.

Já em relação ao aspecto quantitativo, foram realizadas análises dos dados referentes a volumes produzidos, distâncias percorridas em transporte, potencial energético dos materiais abordados, emissões de gases poluentes e GEEs, em cada um dos subprodutos analisados, custos de implementação de cada alternativa, custos de manutenção dos projetos, possíveis externalidades sociais envolvidas nas alternativas, mensuráveis em custos, além de outras

variáveis quantificáveis acessadas no decorrer da pesquisa, ou seja, dados numéricos que devem ser submetidos a ferramentas de análise matemática para que seja possível extrair informações relevantes dos mesmos (HAIR JR et al., 2003). As análises quantitativas são diretamente relacionadas aos resultados qualitativos obtidos, à maneira da triangulação metodológica (JICK⁷, 1979 apud JACK; RATURI, 2006). Assim, a maior parte das questões socioambientais, que não puderam ser contempladas pela RBMCA, foram contempladas como aspectos não incluídos no modelo de simulação, com o intuito de aproximação à resposta da questão central da pesquisa.

Além das entrevistas e contatos com usinas, foi necessária a realização de outra série de abordagens a profissionais técnicos ou acadêmicos que poderiam figurar como consultores e direcionadores dos estudos de viabilidade. Em razão de as alternativas viáveis de aproveitamento energético dos subprodutos da cana estarem em processo de contínuo desenvolvimento, o auxílio desses profissionais foi fundamental para que as equações pudessem ser desenvolvidas. A análise laboratorial da vinhaça, por exemplo, foi solicitada por parte dos consultores envolvidos com os projetos do resíduo, para que fosse possível apontar qual rota tecnológica poderia ser aplicada, ou se a rota tecnológica adotada nos estudos de Salomon (2007) poderia servir de base.

Ao todo, 27 profissionais foram contatados em diferentes momentos da pesquisa. Uma parte desses profissionais não auxiliou diretamente com informações referentes aos aspectos técnicos do estudo, mas contribuiu com outros direcionamentos, como, inclusive, a indicação de profissionais que poderiam auxiliar efetivamente nesses aspectos técnicos. Além deles, o Ministério de Minas e Energia (MME), a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e a Petrobrás S.A. também foram contatados, para busca de informações macroeconômicas relativas ao preço de venda da energia elétrica e biocombustíveis.

A busca das informações envolveu ainda um processo de investigação que consistiu na realização repetida de contatos com pessoas e consultores indicados em entrevistas precedentes, até que se chegasse aos consultores disponíveis e aptos a esclarecer as variáveis a se incluir no modelo de simulação, bem como as equações a se construir nos mesmos. Os apêndices A, B, C e D apresentam conteúdo resultante desse processo de entrevistas.

⁷ JICK, T.D. Mixing qualitative and quantitative research methods: triangulation in action, **Administrative Sciences Quarterly**, v. 24, n.4, p. 602-611, 1979.

Dentro das entrevistas prévias às análises, de caráter exploratório e com o intuito de balizar o desenvolvimento das pesquisas, foi realizada uma entrevista de definição com profissional técnico do órgão de monitoramento e fiscalização de atividades poluidoras do estado de São Paulo, a CETESB (CETESB, 2012). O roteiro de entrevista utilizado para obtenção de informações relevantes ao delineamento da pesquisa foi desenvolvido para que as etapas de análise dos dados primários pudessem ser mais bem respaldadas por entidades oficiais, além de contribuir para a busca por dados mais aderentes à realidade regional e de mercado, em vistas de superar as barreiras entre a viabilidade industrial e a laboratorial. A partir desta entrevista algumas informações relevantes a respeito das alternativas a respeito da vinhaça e do palhiço foram trazidas ao enfoque da pesquisa.

Do roteiro, disponível no apêndice B, a entrevista foi realizada com perguntas abertas e, em adição aos apontamentos feitos por representante da UNICA e da Embrapa, auxiliou na definição de quais usinas poderiam ser objeto das análises, bem como de quais resíduos podem ser mais bem analisados. A vinhaça, o bagaço e os resíduos de colheita são aqueles mais indicados para realização das análises de viabilidade, por apresentarem relevância maior tanto em possível impacto ambiental como em perspectiva de retorno à usina.

Um aspecto que fundamenta o desenvolvimento da pesquisa e pertence aos métodos nela utilizados diz respeito aos critérios levados em consideração quando da escolha da usina que serviria como lócus para os projetos a serem analisados em relação à viabilidade. Tais critérios compreendem:

- Possuir colheita mecanizada. Isso se deve ao fato de que nas usinas em que a colheita é realizada da forma mecanizada, ou colheita verde, há a produção do palhiço, ou resíduos de colheita durante o processo de retirada da matéria-prima do canavial. Conforme explorado na revisão da literatura, os resíduos da colheita constituem subproduto expressivo e promissor em sua reutilização para diferentes fins. Assim, com uma usina que utiliza colheita mecanizada, tem-se um resíduo relevante a mais como possível objeto de análise;
- Ser da região de Ribeirão Preto. Em atendimento às propostas da pesquisa e dada a representatividade desta região para a sucroenergia nacional, todas as usinas contatadas e analisadas como possíveis lócus de pesquisa cumpriam tal critério;
- Possuir gestor com acesso a conhecimentos ambientais para acompanhar os critérios de tomada de decisão de acordo com a metodologia. A metodologia RBMCA

pressupõe a existência de um gestor tomador de decisão que tenha domínio e responsabilidade sobre os aspectos envolvidos no processo e nos projetos analisados. Para tanto, é fundamental que a usina disponha de um gestor voltado para as questões ambientais. Isso possibilita o estabelecimento dos critérios de análise das alternativas, uma das etapas, de forma adequada às necessidades de análise;

- Possuir dimensão que viabilize aplicação de maior variedade de alternativas de destinação dos resíduos. No caso deste critério de seleção da usina, justifica-se em razão da maior disponibilidade de projetos viáveis que possam ser incluídos no estudo pormenorizado a que se propõe o trabalho, quando há um volume maior de resíduos produzidos. Os possíveis ganhos de escala que podem viabilizar projetos em usinas de maior porte é um fator relevante para inclusão de projetos mais específicos.

Feitas as entrevistas iniciais, os contatos foram feitos com as usinas da região de Ribeirão Preto, conforme estabelecido. Dezoito usinas foram contatadas, com retorno positivo de quatro delas, dentre as quais somente duas abriram espaço para realização da entrevista inicial, sendo que uma delas não deu continuidade ao desenvolvimento da pesquisa. As outras duas apenas responderam parte das perguntas disponibilizadas, invalidando suas participações nas análises propostas. A entrevista inicial segue o roteiro disponibilizado no apêndice B e serviu para confirmar o preparo da usina em questão para lidar com o tema da gestão de resíduos. Este roteiro refere-se às entrevistas iniciais para estabelecimento das potencialidades de estudo dentro daquela usina, em um levantamento qualitativo das informações disponíveis. Ao final do roteiro, há um formulário em forma de tabela disponibilizado para confirmar quais itens dentre os grupos de alternativas disponibilizados o gestor entrevistado tinha conhecimento.

O entrevistado da usina que é objeto do estudo demonstrou domínio dos temas propostos, conhecimento geral das destinações possíveis disponibilizadas no formulário, validando a participação da usina nas análises de viabilidade.

3.4 Metodologia RBMCA e sua aplicação

A etapa de desenvolvimento das análises é embasada na metodologia RBMCA e, por fugir ao escopo do trabalho, um relatório completo de análise de benefício/custo (ABC), nos moldes propostos pela Comissão Européia (EC, 2008), não será elaborado. O modelo proposto,

contudo, sustenta a metodologia utilizada e permite a consideração de diferentes aspectos. Assim, à luz da triangulação metodológica (JICK⁸, 1979 apud JACK; RATURI, 2006) será útil ao estudo valer-se de metodologias distintas para acessar informações dos projetos de gestão de resíduos sob diferentes perspectivas.

A partir das entrevistas realizadas foram estabelecidas as seguintes diretrizes de desenvolvimento da pesquisa até que seja possível aplicar a RBMCA:

1. Levantar a disponibilidade detalhada das informações sobre os resíduos na usina válida para a pesquisa. O formulário de verificação dessa disponibilidade está disponível no apêndice C. O conhecimento de quais informações estão disponíveis ajuda a determinar quais projetos serão analisados, sua profundidade e a complexidade das equações.
2. Estabelecer quais padrões e quais indicadores fazem sentido na análise dos aspectos socioambientais dos projetos. Dentre esses indicadores, estabelecer aqueles que são quantificáveis em unidade monetária, portanto abrangidos pelo RBMCA, e aqueles que ilustrarão qualitativamente os aspectos socioambientais.
3. Levantar os valores das variáveis que são consideradas nas externalidades dos projetos.
4. Estabelecer ao menos uma destinação nobre viável e uma destinação consolidada viável dos resíduos. O termo “destinação nobre” denota, a partir dos entrevistados, aquelas que envolvem desenvolvimento tecnológico mais apurado, ao passo que as destinações consolidadas são aquelas já comumente utilizadas pelas usinas. No desenvolvimento dos modelos de simulação e estabelecimento dos projetos, a limitação de alternativas nobres viáveis especificamente para projetos de aproveitamento energético dos resíduos resultou em uma dificuldade maior em cumprir esta etapa. As alternativas estabelecidas como “nobres”, portanto, não implicam em projetos que envolvam tecnologia recente ou mais complexa em todos os casos.
5. Levantar as variáveis necessárias para análise das alternativas, por meio de novas entrevistas em consonância com o proposto inicialmente: responsáveis técnicos,

⁸ JICK, T.D. Mixing qualitative and quantitative research methods: triangulation in action. **Administrative Sciences Quarterly**, v. 24, n. 4, p. 602-611, 1979.

profissionais do setor, bibliografia, dentre outros.

6. Realizar uma análise prévia e geral dos aspectos socioambientais dos projetos, considerando um grupo estabelecido de indicadores que possam auxiliar na análise de aspectos qualitativos socioambientais não contemplados nas externalidades.
7. Com a análise prévia realizada, aplicar a metodologia RBMCA e indicar, com acompanhamento do responsável pela usina, os projetos mais viáveis em comparação com todos os considerados para cada resíduo ou conjunto de resíduos.

A aplicação da metodologia RBMCA inicia-se na usina com o desenvolvimento da planilha de variáveis e equações, derivante das informações coletadas junto aos consultores técnicos e à usina parceira do projeto. Os apêndices E, F e G contêm as planilhas de estabelecimento das variáveis a considerar no estudo e determinam o que foi considerado nesse âmbito, por parte da usina, consultores ou bibliografia

Após escolhida a usina o prosseguimento da pesquisa demanda o início do cumprimento das etapas estipuladas por Karmperis et al (2012) para aplicação da RBMCA. Os passos de aplicação da metodologia, que determinam as etapas de aplicação da metodologia no presente estudo, são:

1. Identificação das alternativas e desenvolvimento das planilhas de variáveis. Nesta etapa é necessário o levantamento das variáveis que devem ser consideradas em cada resíduo e cada projeto a ser analisado;
2. Determinação da distribuição probabilística das variáveis. Nesta etapa, deve-se tomar apoio do gestor e de outros consultores técnicos para determinar as faixas prováveis de variação das variáveis em torno dos valores coletados. Assim, deve-se estabelecer para cada variável uma faixa factível de valores que pode assumir. Isso é importante para aplicação da técnica de Simulação de Monte Carlo. Caso não seja possível valer-se de histórico de todas variáveis, Karmperis et al (2012) apontam que as variáveis devem assumir uma distribuição triangular com valores mínimo, mais provável e máximo;
3. Desenvolvimento do modelo de simulação de Monte Carlo. Nesta etapa, as faixas de variação determinadas na etapa anterior para cada variável são usadas como *inputs* do modelo, e como *outputs* os coeficientes B/C para cada alternativa $a = 1, 2, 3, \dots, n$, que são nomeados como $B/C_1, B/C_2, B/C_3, \dots, B/C_n$, respectivamente.

4. Definição dos critérios de tomada de decisão com seus pesos. Nesta etapa novamente é imprescindível a presença e acompanhamento de um gestor da usina. Segundo Karmperis et al (2012), são estipulados os critérios $c = 1, 2, 3, \dots, k$, e estabelecidos seus pesos $peso^c$, para cada critério, como segue:
 - a. Os pesos devem satisfazer a equação: $0 \leq peso^c \leq 100$ e $\sum_{c=1}^k peso^c = 100$.
 - b. Sendo: $c=1$ (critério 1) = valores esperados (VE) do coeficiente B/C das alternativas. Para $c=1$ assume-se $peso^1$.
 - c. Sendo $c=2,3,\dots,k$: a probabilidade p para que os coeficientes B/C das alternativas assumam valores maiores que valores específicos, determinados em conjunto com o gestor: $B/C > 1,0; B/C > 1,25; B/C > 1,75 \rightarrow peso^2; peso^3; \dots; peso^k$.
5. Aplicar a Simulação de Monte Carlo nos dados coletados e estabelecidos para então estabelecer uma função da distribuição da probabilidade acumulada (FDPA) para cada coeficiente B/C, de cada alternativa analisada. Tais funções devem ser disponibilizadas em gráfico.
6. Na sexta etapa, deve-se verificar o VE do coeficiente B/C de cada alternativa e analisar detalhadamente cada FDPA em comparação com os valores B/C estabelecidos em cada critério, conforme explicado na etapa 4, item “c”. Esta análise comparativa entre a FDPA e os valores estabelecidos para B/C nos critérios permite acessar o valor da probabilidade p_a para cada alternativa a assumir em seus coeficientes B/C valores superiores àqueles estabelecidos nos critérios c . Com isto, tem-se a pontuação de cada alternativa ($a=1,2,3,\dots,n$) para cada critério ($c=2,3,4,\dots,k$):
 - a. $pontuação_a^c = p_a^c(peso^c)$.
 - b. Para o critério $c=1$, que não é baseado em risco e, portanto, não se refere à p_a^c , estabelece-se que será comparado o VE da cada alternativa com o maior VE entre os coeficientes B/C de cada alternativa. Dessa forma, a pontuação para o primeiro critério deve ser apresentada da seguinte forma: $pontuação_a^1 = VE_a(peso^1)/VE_{maior}$.
 - c. Ainda na sexta etapa, conforme orientam Karmperis et al (2012), o tomador de decisão deve dispor de um resumo da pontuação de cada alternativa em cada critério, na forma de um quadro, para que possa visualizar a pontuação total de

cada alternativa, com a soma da pontuação daquela alternativa em cada critério:

$$Pontuação\ total_a = pontuação_a^1 + pontuação_a^2 + \dots + pontuação_a^k = \sum_{c=1}^k pontuação_a^c.$$

7. Na sétima etapa, com o quadro de pontuações de cada alternativa segundo os critérios estabelecidos em conjunto com o gestor, na etapa quatro, é possível comparar tais pontuações das alternativas e assim concluir-se qual a mais viável. Para a presente pesquisa, além do quadro de pontuações, que leva em conta os critérios do gestor, será disponibilizado o quadro de caracterização socioambiental e técnico de cada alternativa, para que se possa ter uma visualização comparativa entre os dois, o que auxilia na consecução do objetivo de propor uma análise de viabilidade que leve em consideração os aspectos de Sustentabilidade.

Para a aplicação da Simulação de Monte Carlo foi utilizado o software Crystal Ball®, que necessita das informações dentro de planilhas Microsoft Word®. O software é o mais adequado para o propósito de análise presente e permite ao usuário dispor de gráficos da função de distribuição da probabilidade acumulada, outro elemento relevante nas análises em RBMCA.

As simulações foram realizadas estabelecendo-se o valor padrão de dez mil rodagens no modelo de simulação, valor este comum a todos os subprodutos da cana analisados. Foi utilizada ainda uma funcionalidade do software Crystal Ball® que permite basear o número de rodagens em um grau de confiança mínimo para a simulação, estabelecido em 99% de acerto. Para cada um dos modelos, que representam cada um dos subprodutos analisados, o software entrega informações estatísticas das simulações realizadas, que serão apresentadas abaixo. Tais informações são disponibilizadas em um gráfico da função de distribuição da probabilidade acumulada (FDPA), além de um quadro com a análise de sensibilidade para as alternativas. Nos gráficos apresentados, para facilitar a visualização dos valores foram fixados os cortes referentes a cada um dos critérios e um corte final, no valor de 2,0. Além disso, na parte inferior das figuras dos gráficos é possível observar qual a probabilidade de os coeficientes B/C assumirem valores maiores que o valor esperado (VE), resultante da ponderação de todos os valores obtidos na simulação.

3.5 Plano de trabalho

A seguir são apresentadas as atividades desenvolvidas e sua contribuição aos objetivos.

- **1ª. Etapa – Revisão bibliográfica:**

A revisão bibliográfica foi executada por meio de material eletrônico, nas bases de dado *web of science*, *isiknowledge*, *Scielo* e em outras bases de busca acadêmica, bem como materiais produzidos por órgãos oficiais, nacionais e internacionais, que constituam importante fonte de dados para os estudos na área de sustentabilidade de biocombustíveis. A ferramenta *Google Acadêmico*, nesse sentido, tem se mostrado bastante eficaz para obtenção de tais materiais, por disponibilizar dados difusos, que podem ser triados e indicar caminhos para obtenção dos materiais teóricos e dados secundários. A revisão bibliográfica foi realizada para as seguintes buscas:

- Pesquisa sobre a atual situação da matriz energética brasileira, indicando a contribuição da indústria sucroenergética na mesma;
- Pesquisa sobre os principais subprodutos do sistema sucroenergético, as possibilidades de produção de energia a partir deles e suas características;
- Pesquisa em trabalhos sobre avaliação de alternativas de aproveitamento de subprodutos do sistema sucroenergético para a geração de energia e sua viabilidade

Contribuição nos objetivos 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 e 9.

- **2ª. Etapa – Coleta de dados primários:**

- Planejamento da coleta de dados: organizações a serem pesquisadas, ferramentas de coleta de dados, elaboração de roteiros de entrevista e de formulários,
- Coleta de dados em usinas produtoras;
- Coleta de dados com pesquisadores da área;
- Coleta de dados com envolvidos em políticas públicas e governo.

Contribuição nos objetivos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 8.

- **3ª. Etapa – Definição do Método de Análise**

- Consolidação dos dados para definição das análises;
- Identificação dos critérios de análise dos dados coletados, com a definição das variáveis mais relevantes para comparação das alternativas;
- Caracterização das alternativas a partir das variáveis escolhidas;
- Proposta de estrutura para avaliação das alternativas.

Contribuição nos objetivos 6, 7, 8 e 9.

● **4ª. Etapa – Procedimento das análises e discussão**

- Realização do levantamento bibliométrico para visualização dos direcionamentos tomados pela pesquisa dedicada ao tema do aproveitamento de resíduos do sistema sucroenergético.
- Complementação da pesquisa com nova coleta de dados e ajustes na metodologia, em função das orientações da banca de qualificação;
- Definição e caracterização das alternativas;
- Aplicação da metodologia RBMCA sobre as alternativas estabelecidas;
- Levantamento de alguns aspectos socioambientais e econômicos que não puderam ser incluídos na metodologia RBMCA por ausência de dados suficientes ou metodologias de identificação, mensuração e internalização que pudessem ser aplicadas a tais externalidades, negativas ou positivas.
- Indicação das alternativas mais adequadas, com vistas à sustentabilidade – ambiental, social e econômica;
- Discussão dos resultados;
- Fechamento das conclusões do trabalho.

Contribuição nos objetivos 6, 7, 8 e 9.

● **5ª. Etapa – Relatório Final:**

- Redação final da dissertação.

4 LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO

Após a realização das buscas nas fontes de publicações científicas selecionadas, com os critérios estabelecidos e desconsiderados os artigos repetidos em mais de uma das fontes de publicação, foram selecionados 53 artigos que formaram o conjunto analisado.

A base de dados Scopus foi a que se mostrou mais robusta em termos de artigos disponíveis adequados aos critérios. Nessa base, 8900 artigos foram encontrados para a busca com o termo “*sugarcane*”, dos quais o artigo mais antigo datava de 1919. Dentro desse grupo, 686 artigos estavam associados ao termo “*waste*”, pelo mecanismo de busca *AND*, sendo o artigo mais antigo datado de 1972. Para o refinamento da pesquisa nessa base, o termo “*waste management*” foi aplicado pelo mesmo mecanismo, no grupo previamente obtido. A partir daí, 277 artigos foram disponibilizados, com o mais antigo datando de 1975. Esses resultados permitem a observação de que as pesquisas sobre resíduos da cana-de-açúcar são recentes, havendo ainda um processo de amadurecimento científico em fase de consolidação.

Do conjunto final de 53 artigos, de todas as fontes de publicações consideradas, o mais antigo datava de 1994 (THANGARAJ; KULANDAIVELU, 1994) e abordava a perspectiva de produção de hidrogênio para uso energético a partir das águas residuárias da cana-de-açúcar e de laticínios.

A análise da evolução temporal das pesquisas levou em consideração a data de publicação do artigo e indica um crescimento nas publicações sobre o tema principalmente a partir de 2007, confirmando o histórico reduzido de pesquisas na área (gráfico 1) e a importância crescente dada ao desenvolvimento de alternativas de reutilização dos resíduos da cana-de-açúcar. Para o ano de 2011 são consideradas as publicações disponíveis apenas nos três primeiros trimestres, por conta do período em que o levantamento foi realizado.

Obs.: Havendo apenas um artigo em 1994 e o restante entre o período 2001-2011, o gráfico foi desenhado de maneira a melhor ilustrar a evolução das publicações.

Fonte: Do autor.

Gráfico 1 - Artigos publicados por ano.

Para a análise do país de origem da pesquisa, levou-se em consideração os seguintes critérios, em ordem de preferência, de acordo com o que estava disponibilizado nos artigos:

- O país em que a pesquisa foi conduzida;
- O país em que o pesquisador obteve os materiais necessários à pesquisa;
- O país ao qual as análises da pesquisa se destinavam.

Esses critérios são mais relevantes do que a nacionalidade do pesquisador por indicarem qual o país de interesse, especificamente, para aquela determinada pesquisa, além de buscar superar o fato de haver pesquisa conduzida internacionalmente, com mais de uma instituição relacionada e que objetiva propor determinada alternativa a partir da realidade de outro país (gráfico 2).

Ainda pelo gráfico 2, percebe-se que a pesquisa em reutilização de resíduos está fortemente focada na realidade brasileira. Isso pode estar relacionado ao crescimento da demanda tanto no mercado brasileiro como internacional, consequência de sua produtividade competitiva frente às outras matérias-primas para geração de bioetanol (NEVES; CONEJERO, 2010).

Fonte: Do autor.

Gráfico 2 - Número de publicações por países-foco das pesquisas conduzidas.

Após a pesquisa nas bases de dados selecionadas ter indicado predominância brasileira como foco das pesquisas, tornou-se relevante verificar a produção científica sobre o assunto na biblioteca eletrônica Scielo, que contribuiu com mais 12 publicações a respeito, sendo 11 voltadas à realidade brasileira e uma focada na Colômbia. Tal procedimento evitou que pesquisas relevantes sobre o tema fossem preteridas. Feito isto, reforçou-se a configuração da pesquisa em reutilização de resíduos baseada em Brasil e Índia.

A análise da produção científica também revelou quais resíduos são, mais comumente, objetos de pesquisa:

- **Torta de filtro:** É um resíduo condensado da indústria de açúcar, produzido a partir da filtragem e clarificação do caldo da cana (BUSATO et al., 2010; GUPTA; TRIPATHI; BALOMAJUMBER, 2011). Para cada tonelada de cana processada, são gerados de 30 a 50 quilos de torta de filtro (GEORGE, 2010). Muitas usinas têm problemas na gestão, transporte e manuseio da torta de filtro, por conta de seu alto teor de água, possuir aroma que age como atraente de insetos, ter risco em exposição direta à luz solar e ser altamente poluente em ecossistemas aquáticos (GEORGE, 2010). Pode ser utilizado para produzir biogás (GUPTA; TRIPATHI; BALOMAJUMBER, 2011), como alternativa para desenvolvimento vegetal (BUSATO et al). e para prevenir erosão (GEORGE, 2010).
- **Vinhaça:** Trata-se de resíduo líquido gerado em destilarias, sendo que para cada litro de etanol, uma média de 8 a 18 litros de vinhaça são gerados (FERREIRA et al.,

- 2011). Pode ser utilizada como estimulante de crescimento vegetal (FRANCO; MARQUES; MELO, 2008; RAMOS et al., 2008; FERREIRA et al., 2011), ou ainda como mitigadora de elementos tóxicos (OLIVEIRA et al., 2009).
- **Melaço:** Resíduo produzido a partir da fabricação de açúcar, com altos teores de açúcares fermentescíveis, oligoelementos, vitaminas e precursores, entre outros (BRINGHENTI; CABELLO; URBANO, 2007). Pode ser utilizado como fonte de carbono para tratamento de poluente (SILVA et al., 2009), ou ainda para produção de etanol em conjunto com outros elementos (BRINGHENTI; CABELLO; URBANO, 2007).
 - **Cinza do Bagaço:** É o resíduo gerado a partir da combustão do bagaço de cana-de-açúcar, quando da produção de energia por cogeração (TEIXEIRA et al., 2008). Para cada tonelada de bagaço, aproximadamente 25 quilos de cinzas são produzidos (LIMA et al., 2011). Apesar de tratar especificamente das cinzas do bagaço, algumas alternativas poderiam ser estendidas às cinzas resultantes da combustão de folhas e topos, em um cenário cujo procedimento seja mais disseminado. Esse resíduo é atualmente aproveitado como adubação orgânica nas lavouras, apesar de possuir poucos nutrientes (LIMA et al., 2011). É possível ainda obter maiores teores de sílica reativa nas cinzas do bagaço por meio de procedimentos de queima mais bem ajustados, permitindo melhor utilização da mesma na substituição de cimento (PAULA, 2009). As cinzas do bagaço são objeto de estudos que analisam sua viabilidade como substituinte de diferentes materiais em concretos (LIMA et al., 2011; PAULA, 2009; SALES; LIMA, 2010; GANESAN; RAJAGOPAL; THANGAVEL, 2007), como suprimento de quartzo em produção de cerâmica (SOUZA et al., 2011; TEIXEIRA et al., 2008), absorvente de pesticida em solução aquosa (AKHTAR et al., 2007) ou ainda como fonte de energia em briquetes (TEIXEIRA; PENA; MIGUEL, 2010).
 - **Bagaço:** O resíduo gerado pela moagem do colmo da cana-de-açúcar para retirada do caldo se caracteriza como bagaço e é o principal resíduo desse processo, em termos de uso energético (NEVES; CONEJERO, 2010). O bagaço de cana também é o principal foco nas pesquisas analisadas, como se pode observar no gráfico 2. As alternativas de uso verificadas no conjunto de pesquisas científicas analisadas compreendem (1) a produção de etanol (ZHAO; WU; LIU, 2011), (2) a produção de outros biocombustíveis (ISLAM; PARVEEN; HANIU, 2010), (3) produção de outros

compostos orgânicos de variadas aplicações (BRANCO; SANTOS; SILVA, 2011) e (4) como agente adsorvente ou mitigador de poluentes (CARVALHO et al., 2011).

- Resíduos da Colheita (folhas e topos): Esse resíduo resulta da colheita verde da cana-de-açúcar, quando não se utiliza da queimada da plantação para colheita (PIPPO et al., 2011). As folhas e topos que sobram da colheita verde representam até um terço do volume de cana disponível, e conserva em si energia de uso potencial relevante (PIPPO et al., 2011). Os estudos analisados sugerem o uso desse resíduo para produção de etanol (DAWSON; BOOPATHY, 2007), para produção de ácido láctico (COCK; STOUVENEL, 2007), ou ainda para produção de energia em caldeiras (PIPPO et al., 2011).
- Palha de cana: A palha de cana poderia ser caracterizada como parte integrante dos resíduos de colheita. Como se trata das folhas ressecadas, que não são aproveitadas no processo principal, é formada principalmente por biomassa lignocelulósica (DE PAOLI et al., 2011). Por conta disso, propõe-se no único estudo que aborda tal resíduo a utilização como substrato para produção de biogás (DE PAOLI et al., 2011).
- Águas residuárias: As águas residuais do processamento da cana-de-açúcar compreendem a água de lavagem da cana, dos equipamentos e pisos, condensados de caldeiras e purgas, condensados vegetais secundários e água dos condensadores barométricos (MIRANDA, 2009), sem se considerar aqui a vinhaça como água residual, por caracterizar-se este resíduo em outro foco de análise, com relevância distinta. O único estudo relacionado a esse resíduo propõe a geração de hidrogênio para fonte de energia, ante uma perspectiva de disseminação do uso desse tipo de combustível (THANGARAJ; KULANDAIVELU, 1994), antes da consolidação das pesquisas sobre resíduos de cana.

Os agrupamentos de pesquisas por finalidade proposta foram desenhados arbitrariamente com base em padrões observados dentro do conjunto total de pesquisas analisadas. Dessa forma, há dentro dos agrupamentos alguma variabilidade, mas estes facilitam a visualização de quais finalidades são predominantemente propostas aos resíduos da cana-de-açúcar.

Por meio da tabela 2 é possível verificar uma concentração das propostas de reutilização dos resíduos nas finalidades 3 e 6. A finalidade 5 se mostrou bastante heterogênea, com pesquisas tratando da produção, a partir de resíduos da cana-de-açúcar, de xilitol (BRANCO; SANTOS; SILVA, 2011), de ácido acético (BAUDEL; ZAROR; ABREU, 2005; COCK; STOUVENEL, 2007), de ácido cumárico para uso médico-farmacológico (OU et al., 2009), nanomaterial

carbonado (ALVES et al., 2011) e reforço para produção de polipropilenos (LUZ; CALDEIRA-PIRES; FERRÃO, 2010).

Tabela 2 - Publicações relativas à finalidade das alternativas de reutilização de resíduos.

Nº	FINALIDADE	Nº DE PUBLICAÇÕES
1	Estimulante de desenvolvimento e crescimento vegetal	4
2	Produção de etanol	5
3	Produção de outros biocombustíveis	13
4	Produção de concreto/argamassa/cerâmica	6
5	Produção de outros compostos orgânicos de aplicação agroindustrial e médica	6
6	Adsorção/mitigação/biofiltração de metais pesados, poluentes.	19

Fonte: do autor.

A finalidade 6 apresenta aquelas pesquisas que propõem o uso de resíduos como elemento de adsorção, mitigação ou biofiltração de poluentes, tanto em meio líquido como gasoso. O gráfico 3 resgata os resíduos mais abordados pelas pesquisas analisadas, conforme explorado anteriormente, e permite visualizar a predominância das pesquisas sobre o bagaço.

Fonte: do autor.

Gráfico 3 - Número de publicações por resíduo abordado.

Os itens "PALHA DE CANA/BAGAÇO", "ÁGUAS RESIDUAIS/VINHAÇA" e "PALHA/VINHAÇA" são assim expostos por tratarem de pesquisas que abordavam a utilização conjunta ou comparativa de tais resíduos. Resíduos da colheita se caracterizam por

folhas e topos residuais da colheita verde, sem queimada, ou SCAR: *Sugarcane Agricultural Residues*.

A tabela 3 indica a diversidade de setores que podem ter algum interesse a respeito dos resíduos da cana-de-açúcar, para as finalidades propostas. No setor 2 inclui-se a própria agroindústria de produção do etanol. Em algumas pesquisas analisadas, a produção de etanol ou outros biocombustíveis se dá com a conjugação de resíduos da cana-de-açúcar a outros materiais ou resíduos de outros sistemas produtivos.

Ainda na tabela 3, Entende-se que o setor sucroenergético tem interesse na totalidade de alternativas propostas, mas está incluso no setor 2 quando a alternativa trata da produção de etanol, por ser esta uma das atividades fim.

Tabela 3 - de publicações por setores e atividades de interesse.

SETOR DE INTERESSE	NÚMERO	Nº DE PUBLICAÇÕES
Insumos agrícolas (adubo, fertilizante, estimulante, pesticidas)	1	5
Agroindústria de biocombustíveis	2	18
Construção civil	3	6
Médica	4	1
Agroindústria de compostos bioquímicos	5	5
Tratamento de efluentes	6	17
Suinocultura	7	1

Fonte: do autor.

Os insumos agrícolas tratados no setor 1 contemplam a utilização de resíduos da cana-de-açúcar como adubo, fertilizante e estimulante de crescimento vegetal, bem como sua utilização como sorvente de pesticidas, o que pode trazer algum benefício à cadeia produtiva que utiliza tal insumo.

A análise do conjunto de materiais científicos contemplado permitiu desenhar o quadro atual da pesquisa em alternativas de destinação de resíduos da cana-de-açúcar, com a distinção de três grandes núcleos, segundo três critérios de divisão das pesquisas: (1) O Brasil como foco de pesquisas dentro do critério de nacionalidade; (2) o bagaço como principal resíduo abordado nas pesquisas, dentro do critério de resíduo abordado pelas pesquisas; e (3) o uso dos resíduos da cana como material mitigador de poluentes em outras cadeias produtivas, como principal finalidade proposta pelas pesquisas, dentro do critério de finalidade proposta.

O fato de o Brasil ser o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, complementado pelo pioneirismo também na utilização do etanol como fonte de energia na matriz energética, justificam o foco neste país, com um quadro de pesquisas mais consolidado sobre o tema. A Índia segue com um volume de pesquisas sensivelmente menor, apesar de ser a segunda localidade em foco nas pesquisas, o que pode ser explicado pelo fato de a cana-de-açúcar indiana não ser utilizada para produção de etanol de forma tão consolidada como no caso brasileiro.

A atenção dada ao bagaço de cana é justificada por sua importância econômica, sendo um dos principais resíduos em termos de energia armazenada (PIPPO et al., 2011), além de poder representar até um terço de cada tonelada de cana-de-açúcar produzida (NEVES; CONEJERO, 2010). Além dele, a cinza obtida de sua queima também se caracteriza como resíduo em usinas que realizam cogeração (GANESAN; RAJAGOPAL; THANGAVEL, 2007), e foi o segundo resíduo mais aplicado em alternativas de reutilização.

Já em relação à finalidade proposta, a justificativa para a condução das pesquisas focando a finalidade 6 (adsorção de poluentes, generalizadamente), vem da importância da busca de materiais satisfatoriamente adsorventes e de baixo custo, caso de alguns resíduos de cana-de-açúcar, notoriamente o bagaço, segundo os próprios autores que tratam dessa finalidade.

No entanto, há espaço ainda para pesquisas que abordem outras finalidades dos resíduos de cana-de-açúcar, bem como para a abordagem de outros resíduos, com destaque ao SCAR, pouco encontrado entre os materiais analisados, mas que representa até um terço do volume de biomassa gerado no processamento da cana-de-açúcar.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre a primeira rodada de busca das variáveis que poderiam ser consideradas no estudo e o estabelecimento das planilhas de variáveis constantes nos apêndices F, G e H, houve um trabalho de aprimoramento do processo, de maneira que até se chegar ao quadro final das variáveis de análise, diferentes consultores técnicos foram contatados e diferentes informações da usina foram buscadas. Foram estabelecidos como resíduos objetos das análises o bagaço, a vinhaça e o palhiço. O palhiço é entendido pelos consultores contatados como a soma da biomassa das impurezas vegetais da colheita, o que envolve palha, folhas verdes, palmitos, topos e outras partes da cana que não têm concentração relevante de sacarose. Os apêndices F, G e H apresentam, portanto, o quadro final de variáveis dos subprodutos bagaço, vinhaça e palhiço, respectivamente. Tais quadros apresentam ainda informações sobre a origem dos dados coletados.

5.1 Alternativas analisadas

Algumas considerações devem ser feitas a respeito dos projetos selecionados, das variáveis levantadas, das equações construídas e dos critérios selecionados. Tais considerações foram formuladas a partir de apontamentos tanto dos consultores técnicos como da própria usina, além da bibliografia utilizada e análise propriamente dita das informações disponíveis. A respeito dos projetos ou alternativas selecionados, tem-se que:

- De acordo com o que propõe Karmperis et al (2012), para aplicação da metodologia RBMCA é necessário que sejam pré-selecionados projetos sabidamente viáveis, para que se possa verificar qual projeto é mais adequado segundo os critérios estabelecidos.
- Apenas uma parte das alternativas de aproveitamento da energia a partir de bagaço, palhiço e vinhaça são viáveis sob a perspectiva industrial, o que implica em poucos projetos passíveis de ser analisados segundo a RBMCA. Em razão dessa limitação, foi necessário analisar também projetos em que o aproveitamento energético dos subprodutos não se dá necessariamente na usina, ou não se objetiva a venda da energia elétrica por parte da usina. No quadro 5 há um detalhamento dos projetos analisados.
- A limitação na disponibilidade de informações e o processo ainda em desenvolvimento dos métodos de análise dos aspectos socioambientais referentes aos

subprodutos sucroenergéticos implicaram também uma dificuldade de analisar com embasamento tais aspectos para os projetos selecionados. Assim, o item 4.6 do texto apresenta uma caracterização desses aspectos, que não puderam ser considerados nas equações, mas que são potencialmente relevantes. O conteúdo do tópico em questão apresenta ainda outras variáveis que não puderam ser consideradas nas equações e que podem ser analisadas em estudos posteriores.

- Para todas as alternativas analisadas, há um estudo de viabilidade técnica que precede o presente estudo. A contribuição dos trabalhos de outros pesquisadores e dos consultores técnicos foram os elementos que sustentaram a viabilidade técnica para que a viabilidade socioambiental e econômica pudesse ser analisada. Alguns aspectos da viabilidade técnica são explorados ao longo das análises, outros foram suprimidos ou simplificados para efeito de simplificação do processo, uma vez que realizar o estudo de ponta a ponta implicaria em desviar do propósito da pesquisa.
- Cada um dos três subprodutos teve alternativas diferentes e não relacionadas no estudo. Embora em aprofundamentos algumas dessas alternativas possam ser concatenadas, o que pode implicar em novo posicionamento estratégico e maior viabilidade, para o presente estudo fugia à proposta associar os projetos, em razão da complexidade adquirida. O quadro 5, a seguir, apresenta uma breve descrição das alternativas:

RESÍDUO	ALTERNATIVA	DESCRIÇÃO
BAGAÇO	1	Venda de <i>pellet</i> do bagaço.
	2	Cenário atual, venda do bagaço excedente.
VINHAÇA	1	Biodigestão. Aplicação do biogás em motor otto e venda da energia elétrica.
	2	Biodigestão. Biogás purificado e vendido ao mercado.
	3	Biodigestão. Biogás purificado é aplicado diretamente na caldeira.
PALHIÇO	1	Venda de energia adicional cogeração.
	2	Venda de bagaço excedente substituído pelo palhiço na cogeração.

Fonte: do autor.

Quadro 5 - Listagem de alternativas por resíduo.

Alguns aspectos são relevantes para a compreensão dos projetos analisados como alternativas dentro da metodologia. As limitações tornaram necessário o uso de alguns trabalhos científicos dedicados à análise de viabilidade de alternativas consonantes com o proposto para o trabalho. A partir desses trabalhos, houve uma adaptação de alguns dados, coleta de outros, e estabelecimento de premissas que foram baseadas naquelas necessárias para os outros

estudos. Algumas se referem a todos os projetos, quais sejam:

- A depreciação, para efeito de simplificação, foi considerada em todas as alternativas em que era pertinente, mas de maneira simplificada, com valor constante baseado no período de vida útil médio dos equipamentos, que determina o horizonte de tempo considerado nas análises. Não foi considerado o valor residual desses equipamentos.
- Não foi considerada a participação de capital de terceiros nos projetos, de maneira que, para efeito de simplificação, todo o custo de capital foi associado à taxa Selic de 10 de junho de 2013, conforme consta nos quadros de variáveis, apêndices F, G e H. A própria usina utiliza tal valor como base para considerar o custo de capital próprio em suas análises de investimento.
- Os nomes das empresas que informaram dados relevantes à composição das alternativas não são divulgados, assim como ocorre com a usina.
- Os valores que precisaram ser atualizados o foram até junho de 2013, com base no IGP-m.
- Nos cenários, a usina adquire integralmente os equipamentos necessários já no momento inicial, sem parcelamento, para efeito de simplificação.
- As saídas em cada alternativa começam a ser consideradas desde o início, ao passo que as entradas só começam a ser consideradas a partir do primeiro ano.
- Os valores são contabilizados somente ao final de cada ano.
- O Imposto de Renda não foi considerado nas análises, embora outros encargos tenham sido abrangidos nas equações. Foge ao propósito do trabalho considerar tal variável dentro da simulação de valores necessária à metodologia RBMCA, além de ser possível verificar a viabilidade dos projetos com valores de retorno antes do imposto de renda.

Esses fatores compõem algumas informações relevantes para cada alternativa, para além da descrição apresentada no quadro 5.

5.1.1 Bagaço

Para evitar que a comparação das alternativas envolvesse quantidades distintas de subproduto, o que prejudicaria o resultado, foi estabelecido uma quantidade fixa de bagaço *in natura* considerada na análise. Tal valor é baseado no dimensionamento estabelecido para produção do *pellet*, dado que direciona os valores de outras variáveis e foi informado por empresa atuante neste mercado. Este limite se deve ao porte do projeto analisado junto à empresa, e pode variar em outros casos. Estabeleceu-se, portanto, o valor aproximado de 24 mil toneladas anuais de bagaço *in natura*, que pode ser utilizado na produção de *pellet*, ou vendido *in natura*, o que ocorre atualmente. Tal valor encontra-se ainda abaixo da estimativa de bagaço *in natura* vendido pela usina, com base em valor da safra passada, de mais de 159 mil toneladas (variável V7, apêndice F). Para a alternativa 1, foi considerada a instalação de uma planta completa de briquetadeira/pelletizadeira. Os equipamentos envolvidos são: secador, fornalha, sistema de exaustão, compactadora e outros equipamentos de suporte. O modelo de cada um desses equipamentos foi mantido em sigilo pelo consultor contatado. Na alternativa 1, portanto, o bagaço excedente, que já fica armazenado no pátio da usina, é transportado ao sistema de produção do *pellet*, com a estrutura de transporte já utilizada para bagaço. Esse sistema é construído dentro da planta da usina, de modo a reduzir os custos com transporte e evitar inviabilidade do projeto. Para esta alternativa, a usina entra no mercado de venda de *pellet* e figura não apenas como fornecedora de bagaço *in natura*, mas internaliza os processos de briquetagem e vende o produto em si. A alternativa 1, do cenário atual, considera o montante de bagaço que seria aplicado no sistema de produção do *pellet* e passa a considerar a venda direta do bagaço *in natura*. Como a análise seria inconsistente caso considerasse o bagaço excedente total face ao aplicado na briquetagem, optou-se por equivaler as quantidades de bagaço das duas alternativas. Não são considerados custos de transporte do bagaço e *pellet* até o mercado consumidor, vez que se admite que os compradores arquem com tais custos. O horizonte de tempo utilizado para os projetos do bagaço foi de 10 anos, como valor provável (variável V3, apêndice F).

5.1.2 Vinhaça

A análise do cenário atual não se mostrou relevante para o caso da vinhaça em razão da pouca disponibilidade de informações a respeito da economia que a usina alcança com fertilizantes substituídos pela fertirrigação. Além disso, em todas as demais alternativas não há perda da função fertilizante que a vinhaça final do processo de biodigestão pode assumir. Os estudos de Salomon (2007) foram muito relevantes para a composição das alternativas ora consideradas, bem como para suas premissas. Os equipamentos analisados naquele estudo foram também considerados para as análises da vinhaça, em razão da indisponibilidade de informações específicas para a usina. Os dados foram adaptados para a realidade presente. Tanto para a alternativa 2 como para a alternativa 3 é considerado o sistema de limpeza por lavagem do biogás, por ser um método de baixo custo, eficaz e consagrado (SALOMON, 2007). Os valores atualizados de Salomon (2007) compreendem o período de junho de 2007 a junho de 2013, para efeito de simplificação. Não foram consideradas diferenças de eficiência entre queima exclusiva de bagaço ou biogás e queima conjunta dos dois na caldeira. Assim, apenas a relação entre os PCIs de ambos é considerada para a alternativa 3. Ainda como simplificação, os custos relativos à mão-de-obra para instalação, treinamento e partida nas três alternativas são considerados iguais. Buscar tal valor para cada um dos cenários aumentaria a complexidade das informações solicitadas aos consultores e o tempo de resposta dos mesmos. Para as três variáveis foi considerado um tempo de vida útil médio dos equipamentos, o que implica no horizonte de análise, de 10 anos como valor provável. Para todos os cenários, é considerado o sistema de biodigestão com reator de circulação interna, que apresenta eficácia maior que as demais alternativas (LAMO, 2012). Na alternativa 1, o biogás é retirado do sistema de biodigestão e encaminhado e um motor de combustão interna para converter a energia do biogás, conforme apresentado em diferentes trabalhos (SALOMON, 2007; PASSOS, 2009; LAMONICA, 2006). Essa energia é considerada em um cenário hipotético de venda em leilão de fontes alternativas, por preço estimado a partir dos valores já praticados nesses leilões (IAB, 2010). Para a alternativa 2, o biogás que sai do sistema de biodigestão é encaminhado ao sistema de purificação por lavagem e vendido a empresa do setor de comercialização de gás natural. Nesta alternativa, o cenário hipotético considera que a empresa consumidora do biometano (biogás purificado) instalará sua estrutura de compressão e envase do gás dentro da planta da usina e atuará no mercado da região. A partir de contatos realizados com a empresa, anônima no presente estudo, foi constatado ser possível considerar

tal cenário hipotético, do ponto de vista da viabilidade técnica, embora possa haver barreiras de outras ordens, que carecem de estudos mais aprofundados. A alternativa foi incluída no presente estudo por ser um cenário distinto da maioria dos estudos analisados e ser promissor tanto do ponto de vista técnico como econômico. Já para a alternativa 3 é considerado que o biogás da vinhaça é purificado pelo mesmo sistema de lavagem do gás e aplicado na caldeira, como maneira de substituir o bagaço. Neste caso, o procedimento pode ser muito relevante para a usina em razão da perspectiva de uso do bagaço para produção de etanol celulósico, ou mesmo para venda de *pellets*. No entanto, como seria necessário conjugar projetos, seria preciso fugir do escopo do trabalho.

5.1.3 Palhiço

As alternativas possivelmente consideradas no caso do palhiço eram mais restritas, em razão da complexidade de análise de algumas delas ou da inviabilidade de mercado para outras. Para ambas alternativas é considerado o uso da mesma estrutura já disponível para transporte da cana até a usina, alterando-se apenas a função da colheitadeira para realizar a colheita integral de parte da cana. Em acordo com os estudos de Souza (2012), uma parte do espaço disponível nas máquinas de colheita da cana fica ocupada pelo palhiço a ser retirado do campo no sistema de colheita integral. Alguns parâmetros técnicos dos limites de colheita do palhiço face à biomassa total, de dimensionamento do tamanho da colheita foram baseados e adaptados de Souza (2012) ou das informações fornecidas pelos consultores de empresas que atuam como parte da cadeia de serviços voltada para soluções ao setor sucroenergético. O processo de obtenção do subproduto palhiço, para ambas alternativas, segue o seguinte fluxo, simplificado (SOUZA, 2012; DEFILLIPI FILHO, 2013):

1. Parte da colheita é realizada retirando-se a cana integralmente do campo;
2. Rodotrens e transbordos se encarregam de transportar a biomassa do campo à usina;
3. Biomassa enviada à mesa alimentadora;
4. Da mesa alimentadora a biomassa é enviada ao sistema de limpeza a seco;
5. Após passar pelo sistema de limpeza, os colmos e as impurezas não retiradas seguem o processo padrão da cana;
6. A palha é triturada e se junta ao bagaço, subproduto do processo industrial da cana.
7. Os dois subprodutos são enviados ao sistema de cogeração.

Para a alternativa 2 é considerado que o palhiço adicional substitui o bagaço, o que figura papel relevante, assim como no caso da alternativa 3 da vinhaça: libera parte da massa de bagaço de sua finalidade atual, para que possa ser utilizado na produção de etanol celulósico em uma realidade propícia, ou mesmo em qualquer outra finalidade mais avançada do que o uso como biomassa para queima e geração de calor.

Ainda no caso das duas alternativas do palhiço, foi considerada para as perdas na produção de álcool uma estimativa proporcional aos estudos de Souza (2012), em adição às informações de consultor técnico. Tais perdas ocorrem porque a presença do palhiço ou de qualquer material intruso no processo produtivo sucroenergético implica na perda de parte da sacarose. Como o presente estudo é voltado para o aproveitamento energético, considera-se que tais perdas ocorrerão apenas para o etanol. Mas, para a situação real, quanto mais palhiço é moído junto ao colmo maior é a perda de sacarose (SOUZA, 2012). Por outro lado, Enquanto para a alternativa 1 o palhiço adicional recolhido é encaminhado à produção de energia elétrica para posterior venda, para a alternativa 2 tal palhiço adicional substitui o bagaço na caldeira, e o bagaço excedente é vendido ao mercado diretamente. Embora a venda do próprio palhiço seja possível, Souza (2012) afirma que os custos elevados em razão de sua menor densidade costumam inviabilizar a realização desses contratos. Como a usina pesquisada já realiza operação de venda do bagaço torna-se mais factível converter a massa de palhiço adicional em bagaço equivalente, para cálculo das receitas oriundas da venda desse bagaço.

Em comparação aos estudos de Souza (2012), a proporção de palhiço por biomassa total entrante no sistema para o cenário atual da usina pesquisada está superior àquela apresentada no estudo da autora. Os estudos apontam por volta de 1,56% da biomassa sendo composta por palhiço quando a colheita não é integral, sendo que a usina da presente pesquisa também não realiza colheita integral. Mesmo com máquinas que promovem parte da separação da palha na colheita, o dado fornecido pela usina analisada a respeito das impurezas vegetais na cana de entrada apontam na ordem de 6,03% da biomassa, ante 1,56% para o estudo da autora (SOUZA, 2012). Ainda segundo Souza (2012), o palhiço representa 13,74% do total de biomassa no campo, para o caso analisado. Utiliza-se o valor de 50% de palhiço deixado como cobertura do campo, para que não haja interferência no papel positivo do palhiço como cobertura vegetal do solo (DEFILIPPI FILHO, 2013). Para tanto, considera-se que metade da cana será colhida na forma integral e metade na forma atual, deixando no campo o máximo possível de impurezas vegetais (palhiço).

Como aproximação, a partir dos dados de Souza (2012), em seu estudo, estabelece-se que para cada tonelada de palhico que entra no sistema, então denominado impureza vegetal, há uma perda de 23,5641 litros de etanol hidratado ao final do processo produtivo. Este valor só é válido se considerar-se que toda a sacarose perdida com a presença da impureza vegetal seria revertida à produção de etanol hidratado. Como o presente estudo se refere ao aproveitamento energético dos subprodutos, tal premissa deve ser também considerada.

5.2 Variáveis consideradas

Os quadros de variáveis para cada um dos três resíduos constam nos apêndices F, G e H. A necessidade de se aproximar à realidade a metodologia de apoio à tomada de decisão implica ao pesquisador decidir quão profundas serão as análises, em razão dos recursos e informações de que dispõe. Para o presente estudo, implicam em fatores limitantes a pouca disponibilidade de tempo tanto do gestor responsável da usina como dos consultores técnicos, além da escassez e dificuldade de acesso de algumas informações referentes a variáveis específicas implicam.

Segundo o que propõe a metodologia RBMCA (KARMPERIS et al., 2012), é necessário que, na ausência de dados de histórico confiáveis para as variáveis, estabeleça-se segundo algum grau de conhecimento da realidade analisada, os valores mínimo e máximo que pode assumir cada variável, além do comportamento esperado para tal variável. Esta é uma das principais contribuições dos consultores de apoio. Tais informações servem de base para o tratamento estatístico dado à análise com a Simulação de Monte Carlo. O comportamento esperado para as variáveis dentro da simulação foi estabelecido como sendo de distribuição triangular, em consonância com o que propõe Karmperis et al (2012) para os casos em que não se dispõe do histórico das variáveis ou este histórico não é confiável.

A planilha de variáveis abrange também os parâmetros fixos considerados nas equações. Tais parâmetros são valores que não possuem valor mínimo e máximo, apenas o valor mais provável, de maneira que não se alteram ao longo das simulações. Há uma coluna nos quadros de variáveis que informa a origem daquele dado, além de algumas informações adicionais. Todos os valores prováveis, a partir dos quais se inicia o processo de simulação, são referentes à safra passada da usina, até dezembro de 2012. Os dados que se referem a outro

momento ou que foram adaptados de artigos ou informações de consultores têm tal especificação nos quadros de variáveis.

5.3 Equações do modelo de simulação

O desenvolvimento das equações se deu a partir da análise das características dos projetos, análise da bibliografia, apontamentos dos consultores e informações disponíveis. Só foi possível construí-las depois de terminadas as rodadas de busca das informações, embora ocorra também influência inversa: determinadas variáveis eram imprescindíveis nas equações, e precisaram ser mantidas. Foram, portanto, adaptadas.

As equações seguem o proposto por Karmperis et al (2012) para a RBMCA: para cada alternativa considerada, há uma equação com os *inflows*, ou entradas, e *outflows*, ou saídas. A razão de entradas/saídas representa o *output* na Simulação de Monte Carlo. Assim, para cada rodagem nas variáveis contidas no *input* da Simulação, verifica-se o resultado obtido no *output*. Em razão também das simulações, as equações não devem ter suas variáveis simplificadas. Se a equação de saídas expõe os custos variáveis em função da produção, por exemplo, o modelo de simulação pode contemplar duas variáveis distintas, custos variáveis e produção, o que permite obter uma aproximação maior à realidade. Ao passo que se na equação de saídas houver somente o resultado dos custos variáveis totais, o modelo de simulação não considerará os componentes desse custo variável. Por outro lado, o desmembramento das equações em seus componentes, ou detalhamento das equações, implica em um aumento de complexidade do modelo. Assim, há um *trade off* entre viabilizar o modelo de simulação e aproximá-lo da realidade.

5.3.1 bagaço

Os códigos das variáveis encontram-se nos quadros de variáveis. Apêndice F, para o caso do bagaço. As equações para a alternativa 1 do bagaço, que representa a utilização de parte do excedente de bagaço no processo de briquetagem, são:

- Entradas (1):

$$E1 = \sum_{V3=2}^{10} \frac{[V22 \times V25 \times (1 - F24)]}{(1 + V1)^{V3}} \quad (1)$$

- Saídas (2):

$$E2 = \sum_{V3=1}^{10} \left\{ \frac{[(V15 + +V19) \times V25] + \{[V16 + V6 \times (1 - F23)] \times [V25 \times \left(\frac{1}{V21}\right)]\}}{(1 + V1)^{V3}} + (V12 \times 0,1) \right\} + [V12 + V13 + +V14] \quad (2)$$

Para a alternativa 2 do bagaço, em que a mesma quantidade de bagaço da alternativa 1 é vendida *in natura*, as equações são:

- Entradas (3):

$$E3 = \sum_{V3=2}^{10} \frac{[V6 \times V25 \times \left(\frac{1}{V21}\right) \times (1 - F23)]}{(1 + V1)^{V3}} \quad (3)$$

- Saídas (4):

$$E4 = \sum_{V3=1}^{10} \frac{[V16 \times V25 \times \left(\frac{1}{V21}\right)]}{(1 + V1)^{V3}} \quad (4)$$

4.3.2 Vinhaça

As equações para a vinhaça, alternativa 1, em que o biogás é aplicado em motor de combustão interna, para venda de energia elétrica, são:

- Entradas (5):

$$E1 = \sum_{V12=2}^{15} \frac{[(V14 \times 24) \times V10 \times (\frac{V8}{1000}) \times V6 \times V4 (\frac{V1}{24 \times 60 \times 60})] \times [V30 + V19] \times (1 - V20)}{(1 + V13)^{V12}} \quad (5)$$

- Saídas (6):

$$E2 = \sum_{V12=1}^{15} \frac{[V16 + V32] + [0,1 \times V17]}{(1 + V13)^{V12}} + [V17 + V18 + V22] \quad (6)$$

Já para a alternativa 2 da vinhaça, em que o biogás é purificado e o biometano vendido, as equações utilizadas são:

- Entradas (7):

$$E3 = \sum_{V12=2}^{15} \frac{[V6 \times V4 \times V1 \times V14 \times V24 \times V21] \times (1 - V20)}{(1 + V13)^{V12}} \quad (7)$$

- Saídas (8):

$$E4 = \sum_{V12=1}^{15} \frac{[V16 + V31] + [0,1 \times V17]}{(1 + V13)^{V12}} + [V17 + V18 + V23] \quad (8)$$

Por fim, para a alternativa 3, em que o biogás purificado substitui parte do bagaço na caldeira, as equações são:

- Entradas (9):

$$E5 = \sum_{V12=2}^{15} \frac{[V26 \times V14 \times V6 \times V4 \times V1 \times V25] \times (1 - V20)}{(1 + V13)^{V12}} \quad (9)$$

- Saídas (10):

$$E6 = \sum_{V12=1}^{15} \frac{[V16 + V31] + (0,1 \times V17)}{(1 + V13)^{V12}} + [V17 + V18 + V27 + V23] \quad (10)$$

4.3.3 Palhiço

Para o palhiço, as equações da alternativa 1 são consideradas abaixo:

- Entradas (11):

$$E1 = \sum_{V8=1}^{10} \frac{\frac{[V10 \times 24 \times V7 \times V4] \times [V31 \times V35] \times [V12 \times (1 - V38)]}{(24 \times 60 \times 60)} + \{V1 \times V26 \times (1 - V38) \times V31 \times [V34 - (V35 \times V36)]\}}{(1 + V9)^{V8}} \quad (11)$$

- Saídas (12):

$$E2 = \sum_{V8=1}^{10} \frac{V17}{(1 + V9)^{V8}} + (V13 + V14 + V32) \quad (12)$$

Por fim, para a alternativa 2 do palhiço, as equações são:

- Entradas (13):

$$E3 = \sum_{V8=1}^{10} \frac{[V35 \times V36 \times V31 \times V23 \times V24] \times (1 - V38) + \{V1 \times V26 \times (1 - V38) \times V31 \times [V34 - (V35 \times V36)]\}}{(1 + V9)^{V8}} \quad (13)$$

- Saídas (14):

$$E4 = \sum_{V8=1}^{10} \frac{V17}{(1 + V9)^{V8}} + (V13 + V14) \quad (14)$$

Para rodagem das simulações, as equações não foram simplificadas, o que poderia implicar em alteração no padrão de simulação.

5.4 Critérios de decisão

A respeito dos critérios considerados, foram estabelecidos cortes fixos dentro do conjunto de valores possíveis que o coeficiente B/C pode assumir para cada um dos resíduos. Assim como ocorre nos estudos de Karmperis et al (2012), os critérios são estabelecidos arbitrariamente e objetivam dividir os possíveis valores de coeficiente B/C em valores tangíveis ao tomador de decisão. Assim, o tomador de decisão terá à disposição os valores de:

- $c_1 = \text{maior valor esperado (VE)}$
- $c_2 = \text{coeficiente } \frac{B}{C} > 1,0$
- $c_3 = \text{coeficiente } \frac{B}{C} > 1,25$
- $c_4 = \text{coeficiente } \frac{B}{C} > 1,5$
- $c_5 = \text{coeficiente } \frac{B}{C} > 1,75$

Estabelecer tais critérios e utilizá-los nas etapas finais da metodologia RBMCA implica levar em consideração o risco nas análises. Assim, atribuir peso (*score*) somente ao primeiro corte ($B/C > 1,0$) significará uma tomada de decisão mais avessa a risco, o oposto do que ocorreria em uma atribuição exclusiva de peso ao último corte ($B/C > 1,75$). Isso ocorre em razão de os critérios com coeficientes B/C maiores serem aqueles relativos às menores chances de ocorrência, chance esta baseada na Simulação de Monte Carlo. O primeiro critério não leva em consideração o risco, mas o valor esperado do coeficiente B/C, depois de realizadas as simulações (KARMPERIS et al., 2012). Para o presente estudo, fica estabelecido como pesos dos critérios:

Tabela 4 - Pesos dos critérios para todos os resíduos.

CRITÉRIOS	PESO
critério 1	10
critério 2	40
critério 3	30
critério 4	15
critério 5	5
Total	100

Fonte: do autor, com base nas informações fornecidas tomador de decisão.

5.5 Resultados da Simulação de Monte Carlo

De acordo com o que estabelece a metodologia RBMCA, a primeira, segunda e terceira etapa deram origem às planilhas com os quadros de variáveis, dos apêndices E, F e G. Na primeira etapa foi possível estabelecer-se quais eram as variáveis a serem consideradas em cada uma das alternativas. Na segunda etapa, os valores dessas variáveis foram atribuídos com base em informações da usina, dos consultores técnicos ou dos trabalhos científicos de apoio, conforme consta nos apêndices supracitados. A terceira etapa consiste na preparação dessas planilhas para realização da Simulação de Monte Carlo. O estabelecimento dos critérios de avaliação, quarta etapa, consta no item anterior, 4.4. Já as etapas finais da RBMCA, quinta, sexta e sétima etapas, serão apresentadas a seguir, para cada um dos resíduos considerados.

5.5.1 Bagaço

Para o bagaço, a FDPA para a alternativa 1 é representada conforme no gráfico 4, a seguir.

Fonte: gerado pelo *software* Crystal Ball®.

Gráfico 4 - FDPA para a alternativa 1 do bagaço.

Observa-se a partir do gráfico 4 que há 49,65% de chance de o coeficiente B/C para a alternativa 1 assumir valor superior a seu valor esperado, de 1,454. Por se tratar do VE, o

valor deve se encontrar na faixa intermediária da função, daí a probabilidade de ocorrência de valores maiores ser próxima de 50%. Já a respeito dos demais cortes, que representam cada um dos critérios, a tabela 5 indica a probabilidade de ocorrência, para os critérios c_2 a c_5 , bem como a razão entre o maior VE para os coeficientes B/C das alternativas consideradas, e o VE da alternativa 1.

Tabela 5 - critérios e probabilidades para a_1

CRITÉRIO	VALOR DO CRITÉRIO	VALOR
c_1	MAIOR VALOR ESPERADO	1,0
c_2	1	96,91%
c_3	1,25	76,96%
c_4	1,5	42,74%
c_5	1,75	17,11%

Fonte: do autor.

Como o maior VE entre os coeficientes das duas alternativas é aquele da alternativa 1, o valor para esse critério fica sendo igual a 1. A tabela 6 apresenta a análise de sensibilidade para as variáveis de maior impacto sobre o resultado do coeficiente B/C.

Tabela 6 - Análise de sensibilidade para alternativa 1.

Análise de Sensibilidade: COEF. B/C alternativa a1			
Código	Variáveis	Contribui à variância	Correlação
V22	Preço estimado venda <i>pellet</i>	0,3027	0,5517
V21	Taxa conversão bagaço/ <i>pellet</i>	0,2257	0,4764
V24	Encargos com venda de <i>pellet</i>	0,1444	-0,3810
V6	Preço venda bagaço	0,0842	-0,2910
V16	Custo transporte bagaço até fábrica	0,0589	-0,2434
V15	Custo com transporte do <i>pellet</i> até o varejo	0,0553	-0,2359
V25	Quantidade de <i>pellet</i> produzido	0,0263	0,1627
V12	Investimento de aquisição de máquinas e equipamentos briquetagem	0,0146	-0,1212
V23	Encargos com venda de bagaço	0,0107	0,1039
V19	Energia consumida na unidade com briquetagem	0,0098	-0,0994
V1	fator de correção anual	0,0070	-0,0840
V14	Investimentos com infraestrutura briquetagem	0,0007	-0,0263
V9	Custo de MO para instalação/treinamento/partida briquetagem	0,0003	-0,0184
V3	Tempo vida útil das máquinas e equipamentos briquetagem	0,0003	0,0179

Fonte: do autor.

A partir dos dados da tabela 6 é possível verificar-se que o preço de venda do *pellet* (V22) e a taxa de conversão bagaço/*pellet* (V21), que representa quanto se obtém de *pellet* para cada tonelada de bagaço, são as variáveis de maior impacto positivo sobre o coeficiente B/C da alternativa 1. Os encargos sobre venda do *pellet* (V24) também têm impacto significativo sobre o *output*, embora tenha correlação negativa. É relevante observar ainda que os valores dos investimentos necessários ao projeto não estão entre as variáveis de maior impacto. O preço de venda do bagaço (V6) é relevante em razão das perdas com venda do bagaço in natura consideradas na alternativa 1, haja vista ser necessário encaminhar à briquetagem parte do bagaço que seria vendido in natura. O fator de correção anual (V1), que representa a taxa mínima de retorno estabelecida pela usina, não está entre as variáveis de maior impacto para o modelo analisado.

Já para a alternativa 2 a FDPA é representada pelo gráfico 5, apresentado a seguir. Verifica-se pelo gráfico que o VE, de 1,273, é inferior do que aquele encontrado para a alternativa 1.

Fonte: gerado pelo software Crystal Ball®.

Gráfico 5 - FDPA para alternativa 2 do bagaço.

A análise do gráfico disponibilizado pelo software permite observar ainda que a maior parte dos valores possíveis para o coeficiente B/C da alternativa 2 encontra-se abaixo do valor de 1,75, um dos cortes estabelecidos para os critérios. Observa-se que para este cenário há

alguma probabilidade de a os benefícios superarem em duas vezes os custos, ou saídas, o que é representado por um coeficiente B/C maior que 2,0. Embora isso ocorra, o VE para tal alternativa manteve-se abaixo do VE da primeira alternativa em razão da maior ocorrência de valores inferiores àqueles encontrados na simulação da alternativa 1. Embora apresente menos rodagens incluídas na FDPA, 9.778 rodagens de 10.000 totais, os resultados dessas rodagens não incluídas não seriam suficientes para tornar o VE da alternativa 2 superior ao da alternativa 1.

O número de rodagens considerado no gráfico consta no canto superior direito da figura. Supondo que todas as rodagens não apresentadas tivessem levado ao maior valor possível do coeficiente apresentado no modelo, de 4,946, seu VE seria de 1,273. O Crystal Ball® apresenta apenas os valores mais representativos, e exclui aqueles que não têm impacto sobre o modelo, portanto, tal possibilidade deve ser considerada muito remota. A tabela 7, a seguir, apresenta a probabilidade de ocorrência dos valores estabelecidos nos critérios e a razão entre VE da alternativa 2 e VE da alternativa 1. Por ser o menor dentre os dois VE, na alternativa 2 o primeiro critério recebe o valor de 0,851, o que significa que o VE para esta alternativa corresponde a 0,851 do VE da alternativa 1.

Tabela 7 - Critérios e probabilidades para a_2

CRITÉRIO	VALOR DO CRITÉRIO	VALOR
c_1	MAIOR VALOR ESPERADO	0.851
c_2	1	74,26%
c_3	1,25	47,80%
c_4	1,5	28,68%
c_5	1,75	17,01%

Fonte: do autor.

A análise de sensibilidade para a alternativa 2 do bagaço é apresentada na tabela 8. Diferentemente do primeiro cenário analisado para o bagaço, neste caso a variável de maior impacto sobre o coeficiente B/C é o custo de transporte do bagaço até a fábrica. Decidiu-se por manter mesmo nome e valores desta variável (V16) por ser necessário uma aproximação entre os custos de transporte de matéria-prima para os dois cenários. Considera-se que o bagaço que fica armazenado no pátio e para ser vendido deve ser transportado até uma distância equivalente àquela necessária para se chegar à fábrica de *pellet*, o que implica em

custos também semelhantes. Foi estabelecida essa aproximação em razão da necessidade de levar o bagaço *in natura* até o caminhão, em sua venda. Como se trata de uma análise comparativa ao *pellet*, caso o bagaço precisasse ser transportado até uma fábrica de *pellet* internalizada na planta da usina, por exemplo, tal qual ocorre para a alternativa 2 da vinhaça, os custos de transporte seriam compreendidos pelo valor da variável V16. Neste caso, a usina não arcaria com os investimentos necessários para a alternativa 1, e venderia o bagaço assim como ocorre para um comprador comum.

Tabela 8 - Análise de sensibilidade para alternativa 2.

Análise de Sensibilidade: COEF. B/C alternativa a2			
Código	Variáveis	Contribui à variância	Correlação
V16	Custo transporte bagaço até fábrica	0,5656	-0,7305
V6	Preço venda bagaço	0,3814	0,5998
V23	Encargos com venda de bagaço	0,0512	-0,2197
V3	Tempo vida útil das máquinas e equipamentos briquetagem	0,0005	0,0218
V21	Taxa conversão bagaço/ <i>pellet</i>	0,0004	-0,0193
V16	fator de correção anual	0,0000	-0,0003

Fonte: do autor.

As variáveis V16 e V6 são as mais relevantes para este cenário. O preço de venda do bagaço tem se alterado bastante ao longo das safras, para a usina analisada. Isso significa que o impacto de tal variável sobre o coeficiente B/C da alternativa 2 pode justificar sua representatividade na análise de sensibilidade para a equação.

5.5.2 Vinhaça

O termo biometano é utilizado, por exemplo, na variável V21 do apêndice F, para designar o gás resultante do processo de limpeza por lavagem do gás, presente nas alternativas 2 e 3, e diferenciá-lo do biogás bruto extraído do biodigestor. Esse gás, por se submeter a um processo de lavagem para retirada de impurezas como o ácido sulfídrico e o gás carbônico, passa a ter uma concentração alta de metano, em valores por vezes superiores a 90% do

volume total (SALOMON, 2007). O gráfico 6 apresenta a FDPA para a alternativa 1 da vinhaça. A maior parte dos valores possíveis para o coeficiente está abaixo de 1,25. O VE para a primeira alternativa analisada na vinhaça foi de 1,109.

Fonte: gerado pelo *software* Crystal Ball®.

Gráfico 6- FDPA da alternativa a_1 da vinhaça.

Da tabela 9 observa-se que há 34,61% de chance de que esta alternativa torne-se inviável ao longo do período observado, de acordo com a simulação a partir das faixas de variação estabelecidas para as variáveis.

Tabela 9 - Critérios e probabilidades para alternativa a_1 .

CRITÉRIO	VALOR DO CRITÉRIO	VALOR
c_1	MAIOR VALOR ESPERADO	0,767
c_2	1	65,39%
c_3	1,25	25,52%
c_4	1,5	6,33%
c_5	1,75	1,03%

Fonte: do autor.

A tabela 10 apresenta quais variáveis têm impacto mais relevante sobre o coeficiente B/C. A quantidade de vinhaça biodigerida, refletida pela capacidade de produzir vinhaça e encaminhá-la ao biodigestor, é a variável de maior impacto sobre o coeficiente B/C. O limite técnico de recebimento de vinhaça para o biodigestor deve ser considerado neste ponto: embora uma maior quantidade de vinhaça produzida seja possível com aumento da produção de etanol, há um limite técnico que precisa ser respeitado até que a quantidade de vinhaça e o mercado justifiquem uma expansão do sistema de biodigestão.

Tabela 10 - Análise de sensibilidade para alternativa α_1 .

Análise de Sensibilidade: COEF. B/C alternativa α_1			
Código	Variáveis	Contribui à variância	Correlação
V1	Produção diária de vinhaça	0,5543	0,7160
V19	Preço médio de venda da energia	0,0848	0,2801
V20	Encargos sobre venda de biometano ou energia	0,0832	-0,2774
V4	DQO média removida no biodigestor	0,0508	0,2169
V6	Conversão de DQO em biogás	0,0462	0,2068
V12	Tempo de vida útil médio das máquinas e equipamentos	0,0427	-0,1987
V8	PCI do biogás	0,0371	0,1852
V14	Dias de moagem - média	0,0332	0,1753
V13	Fator de correção anual	0,0234	-0,1471
V17	Investimento médio máquinas e equipamentos para biodigestão	0,0178	-0,1284
V10	Eficiência do motor de combustão interna (MCI)	0,0124	0,1071
V22	Investimento médio adequação da planta para fornecimento de energia	0,0058	-0,0731
V18	Custo médio com mão de obra instalação/treinamento/partida	0,0022	-0,0452
V30	Receita venda de CEE por MWh de energia vendida	0,0015	0,0377
V16	Custos médios de O&M do biodigestor	0,0014	-0,0360
V32	Custo O&M sistema de geração de eletricidade com MCI	0,0014	-0,0359
V28	Potência retida funcionamento do sistema de geração	0,0004	-0,0185
V15	Energia média entregue anualmente à Rede	0,0002	-0,0128
V5	DQO removida total	0,0002	-0,0123

Fonte: do autor.

Já para a alternativa α_2 , o gráfico apresentado abaixo compreende a FDPA, cortada pelos valores estabelecidos para os critérios. O valor esperado para o coeficiente B/C desta alternativa é de 1,446.

Fonte: gerado pelo software Crystal Ball®.

Gráfico 7 - FDPA da alternativa a_2 da vinhaça.

Na tabela 11 observa-se que há 11,55% de chance de o projeto apresentar-se inviável ao longo do tempo, mantidas as variáveis dentro das faixas previamente estabelecidas. Além disso, é necessário também que as equações mantenham-se iguais ao longo do tempo, sem ocorrência de novos fatores. A alternativa a_2 é a que apresentou maior VE entre os projetos analisados para vinhaça, disso resulta o maior valor possível atribuído ao primeiro critério.

Tabela 11 - Critérios e probabilidades para alternativa a_2 .

CRITÉRIO	VALOR DO CRITÉRIO	VALOR
c_1	MAIOR VALOR ESPERADO	1,0
c_2	1	88,45%
c_3	1,25	67,16%
c_4	1,5	42,77%
c_5	1,75	23,58%

Fonte: do autor.

Ainda pela tabela 11 observa-se que a probabilidade de o projeto representado pela alternativa a_2 apresentar valores de coeficiente B/C superiores a 1,75 é expressivamente maior do que para as demais alternativas da vinhaça.

A tabela 12 apresenta os pesos relativos das principais variáveis sobre o resultado do coeficiente B/C para a alternativa a_2 . Observa-se a partir dela que diferentemente da primeira alternativa analisada, neste caso a variável de maior impacto é o preço médio de venda do biometano ao mercado, V21. O valor de tal variável foi obtido a partir de consulta a empresa pertencente à cadeia produtiva do gás natural. Tal empresa redistribui o gás natural e suas variações, após comprimi-lo e vende-lo a seus clientes. Encontra-se, portanto, em um ponto posterior àquele que a usina se situaria caso passasse a atuar no mercado de gás combustível. Como a usina deixa de arcar com os custos referentes à compressão, envase e venda do gás, a variável de maior impacto sobre o coeficiente passa a ser o próprio preço do biometano.

Tabela 12 - Análise de sensibilidade para alternativa a_2 .

Análise de Sensibilidade: COEF. B/C alternativa a_2			
Código	Variáveis	Contribui à variância	Correlação
V21	Preço médio de venda do biometano ao mercado	0,5395	0,7224
V1	Produção diária de vinhaça	0,2857	0,5257
V20	Encargos sobre venda de biometano ou energia	0,0482	-0,2160
V4	DQO média removida no biodigestor	0,0261	0,1589
V6	Conversão de DQO em biogás	0,0252	0,1562
V13	Fator de correção anual	0,0197	-0,1381
V14	Dias de moagem - média	0,0176	0,1303
V24	Proporção entre biometano final e biogás inicial	0,0170	0,1282
V17	Investimento médio máquinas e equipamentos para biodigestão	0,0169	-0,1277
V16	Custos médios de O&M do biodigestor	0,0013	-0,0355
V18	Custo médio com mão de obra instalação/treinamento/partida	0,0012	-0,0334
V5	DQO removida total	0,0004	-0,0188
V2	DQO médio da vinhaça	0,0001	0,0110

Fonte: do autor.

A questão da quantidade de vinhaça produzida e todos seus desdobramentos citados em referência à análise de sensibilidade da alternativa anterior também valem para este cenário, pois a variável V1 continua com um peso representativo sobre o resultado do coeficiente B/C.

O peso dos encargos sobre a venda de biometano também apresenta importância, e correlação negativa com o valor do coeficiente B/C. Destaca-se ainda da tabela que os investimentos necessários para desenvolvimento do projeto não figuram entre as variáveis de maior impacto para sua viabilidade. Para os três subprodutos analisados, mas com destaque à vinhaça, pode haver impacto de algumas variáveis apresentadas nas análises de sensibilidade sobre outras variáveis também presentes. Assim, a quantidade de vinhaça e os dias de moagem, por exemplo, acabam por ter relação entre si.

Por fim, em referência à alternativa a_3 , o gráfico 8 apresenta a FDPA para a última alternativa considerada no caso da vinhaça. O VE desta alternativa indica que, consideradas as faixas de variação para as variáveis componentes das equações, é inviável o desenvolvimento do projeto, pois apresenta o valor de 0,833, ou seja, as saídas superam as entradas nas contas do projeto.

Fonte: gerado pelo *software* Crystal Ball®.

Gráfico 8 - FDPA da alternativa a_3 da vinhaça.

A tabela 13 reforça a percepção de inviabilidade do projeto: há 72,50% de que as saídas superem as entradas ao longo do período considerado. Por consequência disso, o VE para a alternativa a_3 representa por volta de 57,60% do valor apresentado pelo VE da alternativa a_2 .

Tabela 13 - Critérios e probabilidades para alternativa a_3 , da vinhaça.

CRITÉRIO	VALOR DO CRITÉRIO	VALOR
c_1	MAIOR VALOR ESPERADO	0,576
c_2	1	27,50%
c_3	1,25	11,18%
c_4	1,5	4,18%
c_5	1,75	1,43%

Fonte: do autor.

A tabela 14 mostra que o PCI do biometano que será aplicado na caldeira é a variável mais determinante para tornar a alternativa a_3 viável. O PCI do biometano obtido da purificação necessária à inserção do biogás na caldeira é variável relacionada à pureza desse biometano, às características físico-químicas da vinhaça e ao sistema de biodigestão aplicado. São, portanto, essencialmente as variáveis técnicas que podem determinar a viabilidade do projeto.

Tabela 14 - Análise de sensibilidade para alternativa a_3 da vinhaça.

Análise de Sensibilidade: COEF. B/C alternativa a_3			
Código	Variáveis	Contribui à variância	Correlação
V26	Proporção entre PCI do biometano e bagaço na caldeira	0,4798	0,6698
V25	Preço de venda do bagaço	0,2826	0,5141
V1	Produção diária de vinhaça	0,1498	0,3743
V20	Encargos sobre venda de biometano ou energia	0,0290	-0,1647
V4	DQO média removida no biodigestor	0,0155	0,1203
V6	Conversão de DQO em biogás	0,0131	0,1108
V14	Dias de moagem - média	0,0095	0,0944
V13	Fator de correção anual	0,0087	-0,0902
V17	Investimento médio máquinas e equipamentos para biodigestão	0,0074	-0,0830
V18	Custo médio com mão de obra instalação/treinamento/partida	0,0022	-0,0450
V16	Custos médios de O&M do biodigestor	0,0006	-0,0241
V5	DQO removida total	0,0003	-0,0155

Fonte: do autor.

Assim como nas demais alternativas da vinhaça, os investimentos necessários não figuram como fator preponderante para a viabilidade ou não dos projetos. Como no cenário construído a aplicação de biometano na caldeira implica em economia de bagaço, que é revertido integralmente para a venda, a outra variável de maior impacto, V25, é o preço de venda do bagaço.

5.5.3 Palhiço

Embora o mercado de soluções para aproveitamento do palhiço tenha se mostrado de acesso mais facilitado do que para os demais subprodutos, com quatro empresas pertencentes a tal cadeia consultadas para o estudo, a confrontação das alternativas se mostra menos relevante, haja vista a grande disparidade de resultados dos coeficientes B/C para tais alternativas, aliada ao fato de que uma das alternativas, a alternativa 1, se mostra inviável para a quase totalidade das rodagens da simulação.

Fonte: gerado pelo *software* Crystal Ball®.

Gráfico 9 - FDPA da alternativa **a₁** do palhiço.

O VE do coeficiente B/C para a alternativa 1 do palhiço, estabelecido a partir das simulações, é de 0,475. Isso indica sua inviabilidade. A tabela 15 apresenta mais informações a respeito da inviabilidade da alternativa em questão.

Tabela 15 - Critérios e probabilidades para alternativa **a₁**, do palhão.

CRITÉRIO	VALOR DO CRITÉRIO	VALOR
c_1	MAIOR VALOR ESPERADO	0,475
c_2	1	0,09%
c_3	1,25	0,00%
c_4	1,5	0,00%
c_5	1,75	0,00%

Fonte: do autor.

Há apenas 0,09% de chance de que o coeficiente B/C apresente valores acima de 1,0, para ser considerado viável, dentro das simulações realizadas no modelo estabelecido. Aos demais critérios estabelecidos, não há chances significativas de ocorrência dos valores. Em vistas disso, o estudo seguindo os procedimentos da RBMCA não teve o mesmo impacto positivo para o caso do palhão. A tabela 16, apresenta a análise de sensibilidade para o coeficiente B/C da alternativa 1.

Tabela 16 - Análise de sensibilidade para alternativa **a₁** do palhão.

Análise de Sensibilidade: COEF. B/C alternativa a1			
Código	Variáveis	Contribui à variância	Correlação
V31	Massa cana recebida por ano (média)	0,6150	0,7700
V17	Custos de O&M agrícola + industrial do sistema de limpeza do palhão	0,1130	-0,3300
V12	Preço de venda da energia	0,0560	0,2300
V4	PCI do palhão	0,0520	0,2200
V38	Encargos sobre venda de bagaço, álcool ou energia	0,0410	-0,2000
V36	Porcentagem de palhão mantido como cobertura vegetal do solo	0,0410	-0,2000
V34	Porcentagem de palhão atualmente presente na biomassa de entrada	0,0230	0,1500
V10	Dias de moagem	0,0170	0,1300
V35	Porcentagem de palhão na biomassa de entrada com recolhimento de 50%	0,0100	0,1000
V9	Retorno esperado anual	0,0080	-0,0900
V13	Investimento industrial total do sistema de limpeza sem picadores.	0,0070	-0,0800
V26	Preço de venda do álcool	0,0070	0,0800
V1	Perda na produção de etanol hidratado decorrente da presença do palhão no processo industrial	0,0030	0,0600
V37	Porcentagem do palhão colhido separado pelo sistema de limpeza	0,0030	0,0600
V7	Eficiência da turbina de conversão de energia na cogeração atual	0,0030	0,0600
V32	Investimento médio adequação da planta para fornecimento de energia	0,0000	-0,0200

Fonte: do autor.

A tabela 16 permite observar que o fator de maior impacto para a viabilidade do aproveitamento energético do palhço, na venda de energia elétrica, é a escala de funcionamento do projeto, representada pela quantidade de biomassa de cana recebida na usina, na forma de cana integral. O preço de venda da energia tem um peso relativo menor do que aquele representado pela variável V31, supracitada. Caso todas as demais variáveis fossem mantidas iguais e o preço de venda da energia passasse de R\$145.37 para R\$170,00, por exemplo, o VE do coeficiente B/C se manteria muito inferior a 1,0, desta vez assumindo o valor de 0.529. O aproveitamento energético do palhço por meio da venda de energia elétrica cogerada a partir da queima do subproduto só se mostraria viável caso a quantidade de cana integral recebida fosse acima da capacidade técnica máxima estabelecida para o sistema orçado para a usina: 7,6 milhões de toneladas de cana. Como o limite técnico das dimensões orçadas para o projeto, por parte dos consultores técnicos, é da ordem de 7.080.000 toneladas de cana, tal situação se mostraria inviável. Nesse cenário, o coeficiente B/C da alternativa apresentaria valor de 1,008.

Para a alternativa 2 do palhço, a análise dos dados obtidos a partir da simulação aponta a viabilidade de implantação do projeto. O gráfico 10 apresenta ainda o VE para o coeficiente B/C da alternativa, de 1,296. A visualização do gráfico permite ainda observar que os valores possíveis para o coeficiente B/C estão, em sua maior parte, acima do corte de viabilidade, de 1,0.

Fonte: gerado pelo *software* Crystal Ball®.

Gráfico 10 - FDPA da alternativa **a₂** do palhço.

A partir da tabela 17 apresentada abaixo é possível visualizar as probabilidades de ocorrência de valores maiores do que os cortes dos demais critérios estabelecidos. Assim como nos casos anteriores, o maior VE implica na maior pontuação possível daquela alternativa para o critério que trata dos valores esperados para os coeficientes B/C.

Tabela 17 - Critérios e probabilidades para alternativa α_2 , do palhiço.

CRITÉRIO	VALOR DO CRITÉRIO	VALOR
c_1	MAIOR VALOR ESPERADO	1
c_2	1	74,43%
c_3	1,25	51,25%
c_4	1,5	30,82%
c_5	1,75	17,02%

Fonte: do autor.

A tabela 10 aponta ainda que há 25,57% de chance de que o projeto se apresente inviável ao final do período estabelecido, de 10 anos, para as simulações realizadas no modelo proposto. Para reduzir tal risco, é necessário que os tomadores de decisão adotem medidas voltadas para a redução de incertezas, o que pode implicar também na redução dos retornos esperados.

A tabela 18 expõe a análise de sensibilidade para a alternativa 2. O preço de venda do bagaço apresenta nesta alternativa um impacto maior sobre o coeficiente B/C do projeto, ou seja, sobre sua viabilidade. A correlação é positiva, em 0,54, ante 0,23 para o preço de venda da energia no caso da alternativa 1. Como o palhiço adicional implica no cenário considerado em uma determinada quantidade de bagaço, que será então vendido, é o preço desse subproduto que é considerado na equação. Para ambas alternativas a variável de maior impacto é a escala de implantação do projeto, representada pela quantidade de biomassa de cana recebida.

Tabela 18 - Análise de sensibilidade para alternativa α_2 do palhiço.

Análise de Sensibilidade: COEF. B/C alternativa α_2			
Código	Variáveis	Contribui à	Correlação

		variância	
V31	Massa cana recebida por ano (média)	0,3840	0,6000
V24	Preço de venda do bagaço	0,3170	0,5400
V36	Porcentagem de palhico mantido como cobertura vegetal do solo	0,0940	0,3000
V17	Custos de O&M agrícola + industrial do sistema de limpeza do palhico	0,0750	-0,2600
V23	Proporção entre pci médio do palhico e do bagaço na caldeira	0,0720	0,2600
V38	Encargos sobre venda de bagaço, álcool ou energia	0,0270	-0,1600
V35	Porcentagem de palhico na biomassa de entrada com recolhimento de 50%	0,0170	0,1200
V9	Retorno esperado anual	0,0050	-0,0700
V13	Investimento industrial total do sistema de limpeza sem picadores.	0,0040	-0,0600
V34	Porcentagem de palhico atualmente presente na biomassa de entrada	0,0020	0,0500
V24	Preço de venda do álcool	0,0010	0,0300
V37	Porcentagem do palhico colhido separado pelo sistema de limpeza	0,0010	0,0300

Fonte: do autor.

5.6 Caracterização de aspectos econômicos e socioambientais não considerados nas simulações

A busca por variáveis relativas a aspectos socioambientais dos projetos que pudessem ser convertidas em valor monetário e incluídas na análise RBMCA mostrou-se dificultada pela pouca disponibilidade de informações relativas a tais aspectos, para os projetos citados. À exceção da venda de certificados de emissão evitada (CEE) pelo mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) no caso do uso do biogás da vinhaça na usina, as variáveis socioambientais não puderam ser incluídas nos modelos de simulação. Os itens subsequentes analisam algumas variáveis que não foram incluídas nos modelos de simulação, sendo algumas destas variáveis relacionadas a aspectos socioambientais relevantes.

5.6.1 Bagaço

Para o caso do *pellet*, o aprofundamento das variáveis pode dar novos significados aos projetos a serem implantados. Há aspectos que não podem ser facilmente quantificados, mas que possuem caráter estratégico na tomada de decisão. O bagaço possui importância diferenciada na estratégia das usinas, vez que se tornou um subproduto de papel fundamental atualmente e com perspectiva de ampliação de seu papel quando da viabilidade do etanol de segunda geração.

ECONÔMICA-LEGAL	COMENTÁRIO
Aprofundamento dos custos de transporte bagaço até fábrica	Foi considerada uma aproximação da realidade, ao igualarem-se custos de transporte para as duas alternativas. Embora os valores estejam próximo do real, é necessário aprofundar custos de transporte para o <i>pellet</i> .
Custo médio ponderado de capital (MATIAS, 2007).	O custo médio ponderado de capital será mais real do que a Selic utilizada, principalmente caso algum financiamento seja envolvido.
Diversificação de receitas e redução de risco.	Necessário verificar se com a diversificação reduz-se risco de exposição a variações de mercado. Segundo ABIPEL (2012), o mercado de pellets deve crescer no mundo, e o Brasil pode ocupar posição de destaque. Assim, ampliar o mix de produtos da usina com o <i>pellet</i> ou <i>pellet</i> pode ter caráter estratégico.
Custos extras com manutenção de máquinas e equipamentos	Os custos levantados são aproximações, que precisam ser mais bem definidas em pesquisas futuras.
SOCIOAMBIENTAL	COMENTÁRIO
Redução de emissão de GEEs com os <i>pellets</i>	Em análise do ciclo de vida do <i>pellet</i> , é necessário verificar se o mercado consumidor substituirá combustível fóssil pelo <i>pellet</i> , o que pode implicar redução de emissão de GEEs.
Aumento de postos de trabalho	Caso a produção de <i>pellet</i> seja internalizada na usina, é necessário verificar se haverá aumento de postos de trabalho em condições adequadas.
Maior arrecadação de impostos.	Considerando-se mesmo montante de bagaço, sua venda in natura implica recolhimento de R\$325.080,00 enquanto que o <i>pellet</i> leva a recolhimento de R\$1.620.000,00 ao ano, sem considerar o IR.
Aumento de emissão de GEEs com <i>pellets</i> .	Em decorrência da adição de um processo logístico, o transporte do <i>pellet</i> aos consumidores, há aumento de emissão de GEEs, que deve ser verificado em uma análise de ciclo de vida do <i>pellet</i> .
Substituição da lenha de origem irregular por biomassa beneficiada.	Necessário verificar se os futuros consumidores do <i>pellet</i> atualmente consomem lenha de origem em trabalho escravo ou mata nativa, por exemplo.

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 6 – Variáveis não consideradas no modelo de simulação para o bagaço.

A diversificação das fontes de receita, um dos aspectos econômicos não considerados, é um exemplo de aspecto que assume papel estratégico para a usina. Como ocorre de os preços de venda do bagaço in natura variar fortemente ao longo das safras, a usina pode evitar perdas ao optar pelo mercado de *pellet* em complemento.

5.6.2 Vinhaça

As informações referentes à vinhaça e suas alternativas de aproveitamento estavam mais disseminadas e disponíveis na literatura, embora menos acessíveis nos consultores especializados. A possibilidade de considerar três alternativas distintas no caso deste resíduo também ampliou o horizonte de decisão. Algumas aproximações também precisam ser superadas com busca de orçamentos específicos para a usina, junto às empresas do setor.

ECONÔMICA-LEGAL	COMENTÁRIO
Barreiras à comercialização de biometano	Necessário verificar se há barreiras para a comercialização de biometano ou de outras formas de gás combustível nos moldes estabelecidos para a segunda alternativa da vinhaça.
Custo médio ponderado de capital (MATIAS, 2007).	O custo médio ponderado de capital será mais real do que a Selic utilizada, principalmente caso algum financiamento seja envolvido.
Diversificação de receitas e redução de risco.	Necessário verificar se com a diversificação reduz-se risco de exposição a variações de mercado.
Redefinição de valores aproximados	Alguns valores referentes a investimentos e custos foram aproximados de outros estudos. É necessário solicitar orçamentos a empresas interessadas, especificamente para a realidade da usina considerada. A adaptação dos valores considerou proporcionalidade com a produção e atualização monetária.
Limite das turbinas de conversão de energia.	Há três turbinas com capacidade de 3.000KW cada, totalizando 9.000KW de capacidade, a uma operação média de 80%, segundo dados da usina. Isso significa que para a alternativa em que há conversão de energia térmica em elétrica dentro da usina, o limite da capacidade das turbinas deveria ser considerado. Optou-se por não considerar tal limite em razão da maior complexidade de análise. Possivelmente seria necessário adaptar as turbinas para que haja capacidade disponível.
SOCIOAMBIENTAL	COMENTÁRIO
Redução de emissão de GEEs com utilização do biometano	Em análise do ciclo de vida do biometano, é necessário verificar se o mercado consumidor substituirá combustível fóssil pelo biometano, o que pode implicar redução de emissão de GEEs.
Aumento de postos de trabalho	Caso o sistema de biodigestão seja internalizado na usina, é necessário verificar se haverá aumento de postos de trabalho em condições adequadas.
Maior arrecadação de impostos.	Considerando-se que atualmente não há arrecadação extra de imposto com a vinhaça, as arrecadações, excluído o IR, seriam de, respectivamente para cada uma das alternativas, R\$1.326.671,84; R\$1.207.800,23; e R\$653.630,80.
Aumento de emissão de GEEs com biometano vendido ao mercado.	Em decorrência da adição de um processo logístico, o transporte do biometano aos consumidores, pode haver aumento de emissão de GEEs, que deve ser verificado em uma análise de ciclo de vida do produto.
Redução de prejuízos à população de entorno.	Necessário verificar se a fertirrigação com vinhaça biodigerida implica em mesmas externalidades que sua versão não biodigerida, como mau cheiro e atração de insetos.
Descentralização da geração de energia elétrica.	Para as alternativas 1 e 3, verificar se há ganhos ou economias quantificáveis decorrentes da descentralização da geração de energia elétrica.

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 7 - Variáveis não consideradas no modelo de simulação para o bagaço.

A descentralização da geração de energia elétrica é um aspecto apontado por CENBIO (2001) que também destaca a possível redução do mau cheiro da vinhaça com a biodigestão. Os próprios estudos de Karmperis et al. (2012) apontam a redução dos aluguéis em entorno de planta de gestão de resíduo em que há ou havia presença de mau cheiro como uma externalidade negativa. Do mesmo modo, é necessário verificar se para o caso da vinhaça há o mesmo tipo de relação. A redução de consumo de fertilizantes não foi apontada no quadro 7 em razão de já se evitar ou reduzir tal consumo no presente cenário, com aplicação da vinhaça no solo sem o processo de biodigestão. Como seu potencial fertilizante se mantém o mesmo (SALOMON, 2007), não há alteração nesta variável.

Para o projeto representado pela alternativa a_1 , em que o biogás purificado é encaminhado a motor de combustão interna para geração de energia elétrica, torna-se relevante ainda a consideração das emissões de poluentes, para diferentes combustíveis utilizados. A tabela 15, mostra os dados coletados segundo o Instituto Nacional de Pesquisa Ambiental dinamarquês, o NERI (2005).

Tabela 19 – Emissão de poluentes em MCI de potência inferior a 50 MW, em g/GJ.

Combustível	SO ₂	NO _x	COV	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂ O	PST	PM10	PM2.5
Carvão mineral	41	127	1,5	1,5	10	95.000	0,8	3	2,6	2,1
Madeira e similares	1,74	69	3,3	2,0	79	102.000	0,8	7,9	1,94	1,23
Resíduos urbanos	23,9	124	0,98	0,59	7,4	112.100	1,2	2,02	1,126	1,084
Palha	47,1	131	0,8	0,5	63	102.000	1,4	3,97	0,133	0,102
Gás Natural	0,3	42	2	15	28	569.600	1,0	0,1	0,1	0,1
Biogás	25	28	4	4	36	83.600	2,0	1,5	1,5	1,5

Fonte: adaptado de NERI (2005) pelo autor. COV: compostos orgânicos voláteis, exceto metano. PST: partículas suspensas totais. PM10: partículas suspensas de maior diâmetro (2,5 a 10µm. PM2,5: partículas suspensas de menor diâmetro, mais nocivas (menor que 2,5 µm).

Embora os dados sejam adequados à realidade dinamarquesa especificamente, a comparação do biogás com os demais combustíveis indica emissões menores de poluentes, na maioria dos casos e ante a maior parte dos demais combustíveis analisados. Em comparação com o gás natural, no entanto, a tabela mostra que alguns poluentes podem estar presentes em maior

concentração que aquelas encontradas para o biogás. Tal fator tem peso ainda na definição dos aspectos socioambientais para a alternativa a_2 , caso o biometano seja utilizado em substituição ao gás natural nos consumidores finais. Para qualquer alternativa, será necessário considerar cada poluente como uma externalidade negativa dos projetos e mensurá-los segundo alguma metodologia. Obter tal informação será de fundamental importância para que estudos dedicados ao presente tema possam aprofundar as análises e seus resultados.

5.6.3 Palhiço

O aproveitamento do palhiço para fins energéticos pode implicar impacto direto na proteção do solo e na demanda por insumos agrícolas, uma vez que seu papel de cobertura vegetal do solo passa a não ser mais cumprido (DEFILIPPI FILHO, 2013). Uma análise de ciclo de vida do palhiço para os projetos que proponham seu aproveitamento deve considerar os aumentos na emissão de poluentes e GEEs decorrente da maior complexidade logística, além dos impactos negativos da redução da biomassa de proteção do solo. Tais elementos compõem as principais variáveis socioambientais não consideradas na metodologia RBMCA aplicada ao palhiço e que podem ter impacto relevante na tomada de decisão e na viabilidade dos projetos levando-se em consideração aspectos da sustentabilidade.

ECONÔMICA-LEGAL	COMENTÁRIO
Limite de absorção de mercado para venda do bagaço	Embora os estudos realizados para os subprodutos não tenham relacionado transversalmente os projetos, é necessário verificar se o mercado comporta a venda de bagaço, para os projetos que façam jus a tal procedimento.
Custo médio ponderado de capital (MATIAS, 2007).	O custo médio ponderado de capital será mais real do que a Selic utilizada, principalmente caso algum financiamento seja envolvido.
Diversificação de receitas e redução de risco.	Necessário verificar se com a diversificação reduz-se risco de exposição a variações de mercado.
Redefinição de valores aproximados	Alguns valores referentes a investimentos e custos foram aproximados de outros estudos. É necessário solicitar orçamentos a empresas interessadas, especificamente para a realidade da usina considerada. A adaptação dos valores considerou proporcionalidade com a produção e atualização monetária.
Limite das turbinas de conversão de energia.	Há três turbinas com capacidade de 3.000KW cada, totalizando 9.000KW de capacidade, a uma operação média de 80%, segundo dados da usina. Isso significa que para a alternativa em que há conversão de energia térmica em elétrica dentro da usina, o limite da capacidade das turbinas deveria ser considerado. Optou-se por não considerar tal limite em razão da maior complexidade de análise. Possivelmente seria necessário adaptar as turbinas para que haja capacidade disponível.
Consolidação do etanol celulósico e seu impacto	A implantação da produção de etanol celulósico na usina pode implicar em um novo papel para o palhiço. Uma terceira alternativa deverá ser analisada, nesse

no uso do palhiço	contexto, referente ao uso do bagaço ou palhiço excedente para produção do etanol celulósico.
O impacto das impurezas minerais	O presente estudo considera parcialmente os impactos das impurezas vegetais sobre o sistema produtivo sucroenergético. Além de aprofundá-los, pode ser relevante distingui-los dos impactos das impurezas minerais, e mensurá-las dentro da RBMCA.
SOCIOAMBIENTAL	COMENTÁRIO
Impacto da redução da massa de palhiço como cobertura vegetal.	Necessário verificar se deverá haver aumento do uso de fertilizantes e outros insumos agrícolas, o que implica ainda em acréscimo na emissão de poluentes e GEEs, em razão dessa redução.
Aumento de postos de trabalho	Caso a produção de <i>pellet</i> seja internalizada na usina, é necessário verificar se haverá aumento de postos de trabalho em condições adequadas.
Maior arrecadação de impostos.	Considerando-se que atualmente não há arrecadação extra de imposto com o aproveitamento do palhiço, as arrecadações, excluído o IR, seriam de R\$1.697.599,00 e R\$4.909.459,00 para as alternativas 1 e 2, respectivamente.
Aumento de emissão de GEEs com colheita integral.	Como é necessário ampliar o número de viagens de transporte da cana até a usina, em decorrência da diminuição na densidade da biomassa transportada, é necessário incluir nos cálculos de emissão de GEEs e poluentes aqueles decorrentes do acréscimo no número de viagens dos transbordos, rodotrens e demais máquinas.
Prejuízos à população de entorno.	Deve-se analisar se a redução da cobertura vegetal implicará aumento da erosão eólica e consequente aumento da suspensão de poeira (SALLAWAY, 1979 ⁹ apud SANTOS 2011), e se tal fenômeno acarretará prejuízos e transtornos à população de entorno.
Descentralização da geração de energia elétrica.	Para a alternativa 1, verificar se há ganhos ou economias quantificáveis decorrentes da descentralização da geração de energia elétrica.

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 8 - Variáveis não consideradas no modelo de simulação para o bagaço.

Além dos fatores relativos ao papel de cobertura vegetal do solo, ainda outros podem ser relevantes, inerentes ao sistema sucroenergético. Dentro desses aspectos estão a descentralização da geração de energia elétrica, as diferenças de arrecadação de impostos e as questões trabalhistas envolvendo o palhiço.

5.7 Pontuações das alternativas e a tomada de decisão final

Depois de realizada a Simulação de Monte Carlo e cumpridas todas as demais etapas da metodologia RBMCA, o tomador de decisão tem à disposição as pontuações dos projetos, ou alternativas, para que possa embasar sua escolha. Para chegar-se aos valores das pontuações,

⁹ SALLAWAY, M.M. Trash retention as a soil conservation technique. In: Conference of the Australian Society of Sugar Technologist, Mackay, 1979. **Proceedings...** Brisbane: BSES, 1979. P. 133-137.

multiplica-se o peso de cada um dos cinco critérios pelo valor obtido para tais critérios para cada uma das alternativas, como se pode observar nas tabelas 20, 21 e 22.

Tabela 20 - Pontuações e resultado da análise RBMCA, para bagaço.

Critérios	Peso	Alternativa 1	Pontuação	Alternativa 2	Pontuação
critério 1	10	1	10	0,85	8,5
critério 2	40	96,91%	38,764	74,26%	29,704
critério 3	30	76,96%	23,088	47,80%	14,34
critério 4	15	42,74%	6,411	28,68%	4,302
critério 5	5	17,11%	0,8555	17,01%	0,8505
Soma	100		79,1185		57,6965

Fonte: do autor.

O bagaço é o subproduto analisado que apresentou menor diferença entre as pontuações de cada uma das alternativas. A alternativa 1, com 79,1185 pontos, deve ser a alternativa selecionada para ser implantada. Assim, a usina optaria pela implantação do sistema de peletização do bagaço, e posterior venda dos *pellets* ao mercado.

Tabela 21 - Pontuações e resultado da análise RBMCA, para vinhaça.

Critérios	Peso	Alternativa 1	Pontuação	Alternativa 2	Pontuação	Alternativa 3	Pontuação
critério 1	10	0,7669	7,669	1	10	0,576	5,76
critério 2	40	65,39%	26,156	88,45%	35,38	27,50%	9,7295
critério 3	30	25,52%	7,656	67,16%	20,148	11,18%	2,25255
critério 4	15	6,33%	0,9495	42,77%	6,4155	4,18%	0,26817
critério 5	5	1,03%	0,0515	23,58%	1,179	1,43%	0,01686
Soma	100		42,482		73,1225		18,0271

Fonte: do autor.

Para o caso da vinhaça, embora o fato de haver três alternativas a serem analisadas tenha permitido maior visualização das diferenças de pontuação possíveis, ainda assim houve uma alternativa destoando consideravelmente das demais. Neste caso, a usina optaria por implantar o sistema de biodigestão e purificação do biogás, para posterior venda do biometano a empresa do setor que revenderia o combustível.

Tabela 22 – Pontuações e resultado da análise RBMCA, para palhiço.

Crítérios	Peso	Alternativa 1	Pontuação	Alternativa 2	Pontuação
critério 1	10	0,475	4,75	1	10
critério 2	40	0,09%	0,036	74,43%	29,772
critério 3	30	0%	0	51,25%	15,375
critério 4	15	0%	0	30,82%	4,623
critério 5	5	0%	0	17,02%	0,851
Soma	100		4,786		60,621

Fonte: do autor.

Por fim, para o caso do palhiço, a disparidade de valores para as pontuações das duas alternativas explicita a inviabilidade de uma delas. A usina optaria neste caso por realizar a colheita integral de parte da produção, substituir o palhiço adicional por parte do bagaço e então vender o último, como faz atualmente.

5.8 VPL dos projetos considerados

Como complemento aos coeficientes B/C estabelecidos na análise pela metodologia RBMCA para os projetos considerados, o valor presente líquido pode ser útil, embora não contemple aspectos socioambientais qualitativos ou ainda não quantificados, assim como ocorreu com a própria metodologia RBMCA. Para chegar-se aos valores que compõem os coeficientes B/C das alternativas, foi necessário trazer fluxos de caixa a valor presente. Para obter-se o VPL dos projetos é necessário proceder da mesma maneira, além de subtrair dos valores desses fluxos descontados, os valores do investimento (MATIAS, 2007). A tabela 15 mostra uma comparação entre valores de VPL e coeficientes B/C das alternativas consideradas.

Tabela 23 – Comparação entre VPL e coeficiente B/C das alternativas.

SUBPRODUTO	ALTERNATIVA	VPL	COEFICIENTE B/C
BAGAÇO	a_1	R\$ 8.714.515,66	1,659
	a_2	R\$ 2.872.252,86	2,894
VINHAÇA	a_1	R\$ 1.431.376,80	1,086
	a_2	R\$ 3.062.265,26	1,230
	a_3	-R\$ 4.458.093,58	0,665

PALHIÇO	a_1	-R\$27.042.996,46	0.459
	a_2	R\$18.254.704,81	1.380

Fonte: do autor.

Todos os coeficientes B/C apresentados na tabela 15 são resultado das equações para cada alternativa, preenchidas com as variáveis em seus valores prováveis, disponíveis nos apêndices E, F e G. Assim, tais valores não foram ainda submetidos aos modelos de simulação, portanto não representam os VE desses coeficientes. O caso do bagaço ilustra a diferença entre os dois valores explorados. Embora a alternativa a_2 possua um coeficiente maior, seu VPL é bastante inferior àquele obtido para a alternativa a_1 . Os valores envolvidos na venda do bagaço in natura são inferiores àqueles envolvidos na adição de um processo industrial à usina e venda de um produto beneficiado. Quando se considera o coeficiente B/C das alternativas a partir do VE das equações, no entanto, a decisão levará do mesmo modo a usina a optar pela alternativa a_1 do bagaço. No caso do palhiço, a simples análise do VPL dos projetos já seria suficiente para verificar-se que há diferença significativa na viabilidade das duas alternativas consideradas.

5.9 Análises e discussão dos resultados

Conforme apontado ao longo do trabalho, o conceito de triangulação metodológica (JICK¹⁰, 1979 apud JACK; RATURI, 2006) foi fundamental para o desenvolvimento da pesquisa e possibilitou alcançar as informações necessárias à conclusão da pesquisa, em vistas de seus objetivos. Para os casos em que o subproduto se torna matéria-prima na produção de biocombustíveis, na forma de biometano ou *pellet*, ou ainda eletricidade da cogeração, é necessário que as pesquisas amadureçam até que seja possível o desenvolvimento de princípios, métricas de análise e regulamentação no sentido de incrementar os aspectos socioambientais da sustentabilidade desses produtos (DAM; JUNGINGER; FAAIJ, 2010). Ainda segundo os autores, esse processo de avanço nas pesquisas está em amadurecimento para a bioenergia em suas diferentes formas de apresentação. Isso ficou claro diante da

¹⁰ JICK, T.D. Mixing qualitative and quantitative research methods: triangulation in action, **Administrative Sciences Quarterly**, v. 24, n.4, p. 602-611, 1979.

dificuldade encontrada no processo de busca por indicadores e métricas que pudessem ser adequadamente utilizadas na análise de viabilidade presentemente realizada.

Sem que sejam levados em consideração os aspectos socioambientais não incluídos na análise RBMCA, a usina optaria por produzir *pellets* do bagaço, produzir biometano a partir da vinhaça e substituir palhiço por bagaço na cogeração para então vender o bagaço adicional. Embora a produção de *pellets* de bagaço não tenha se mostrado no levantamento bibliométrico como uma alternativa relevante para as pesquisas científicas, o trabalho de Hoffelder (2011), que auxiliou no desenvolvimento da planilha de variáveis e na adaptação do cenário do bagaço estudado, indica também pela viabilidade econômica do uso de parte do bagaço gerado na usina para produção do *pellet* para posterior venda do produto.

Para os três casos, será determinante à implantação dos projetos que alguns dos aspectos não considerados possam ser incluídos e que a usina se resguarde das chances de insucesso, adotando medidas como valer-se de contratos de venda dos três produtos citados. Em nenhum dos subprodutos o aproveitamento para fins de geração de energia elétrica mostrou-se o mais viável, embora o aproveitamento energético dos subprodutos ocorra para o bagaço e para a vinhaça, mas sem que tal potencial energético seja convertido em energia elétrica.

É possível que com o alcance da viabilidade industrial na produção do etanol celulósico se altere o quadro de viabilidade, principalmente para o palhiço e o bagaço. Em ambos os casos, mas com destaque para o último, os cenários analisados nesta pesquisa não abrangeram a quantidade total disponível dos resíduos, mas apenas uma parte. Isso significa que os projetos poderão coincidir e permitir à usina que atue em mercados mais diversificados, mesmo com a presença do processo produtivo do etanol celulósico. Tais questões serão mais relevantes à medida que a produção de etanol celulósico se tornar mais factível para a usina. Planejar o processo produtivo da usina desde já para que ele possa receber uma quantidade de biomassa na forma de palhiço, por exemplo, será relevante para a implantação com sucesso de projetos de geração do etanol celulósico. Em complemento a isso, o desenvolvimento das pesquisas e o domínio das empresas sobre essas tecnologias devem auxiliar para que o Brasil possa se inserir no fluxo de conhecimentos e no paradigma da produção de etanol celulósico (MARQUES, 2008; CARDONA; QUINTERO; PAZ, 2010).

Para os casos da vinhaça e do palhiço, em que há um incremento no aproveitamento energético, pois a usina passa a utilizar a energia armazenada nesses subprodutos ou vendê-la em diferentes formas, reforça-se o que afirmam os estudos de Castro et al. (2009) e Castro,

Dantas e Brandão (2009), em razão de se observar que há potencial de aproveitamento energético subutilizado nos resíduos ou subprodutos do sistema sucroenergético. De maneira geral, o maior aproveitamento da energia armazenada na biomassa da cana implicará em um incremento da participação dessa matéria-prima na composição da matriz energética brasileira (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007; BAJAY; NOGUEIRA; SOUSA, 2010). Ainda que uma única usina não seja suficiente para alterar os valores dessa participação, a disseminação no setor dessas práticas de aproveitamento e a implantação de projetos nesse sentido deverão levar a tal incremento.

A análise de viabilidade para projetos de aproveitamento energético de resíduos, levando-se em consideração aspectos da sustentabilidade dos projetos, para o setor sucroenergético, mostrou-se de difícil consecução em razão do processo ainda em desenvolvimento da busca por informações que possam suportar a tomada de decisão tanto do ponto de vista acadêmico como de mercado. Embora o levantamento bibliométrico tenha indicado haver uma expansão das pesquisas dedicadas a projetos de aproveitamento dos resíduos sucroenergéticos, tais pesquisas nem sempre estão voltadas para a geração de energia, ou aproveitamento energético, desses subprodutos.

Há, neste ponto, uma carência que indica o direcionamento atual das pesquisas no tema: tais trabalhos estão muito mais dedicados a pesquisar as questões da viabilidade técnica e econômica do que da viabilidade socioambiental dos projetos. Isso implica em uma carência de informações que possam respaldar pesquisas dedicadas à análise ampliada da viabilidade dos projetos, levando-se em consideração o papel da sustentabilidade. Nesse ponto, destaca-se ainda o entendimento a respeito do que deve ser considerado sustentabilidade em projetos envolvendo biocombustíveis, e que aponta para a necessidade de que se leve em consideração mais do que os incrementos das fontes de energia renovável na matriz energética, e passe-se a considerar também os mecanismos de inclusão social e ambiental (PLAZA; SANTOS; SANTOS, 2009; FIGUEIREDO; FARIAS FILHO, 2009).

As perspectivas promissoras da energia renovável sobre a matriz energética nacional, e o sistema sucroenergético entra nesse ponto, deveriam servir ao Brasil como elemento facilitador para que se supere o estigma de país excludente (PLAZA; SANTOS; SANTOS, 2009). Embora os projetos analisados isoladamente não tenham relação direta com as questões de emprego e divisão da renda gerada, o sistema produtivo em que se inserem deve ser analisado em pesquisas futuras para que os apontamentos desses autores sejam levados em

consideração de maneira mais ampla. Neste ponto, ações de responsabilidade social financiadas pelo incremento de receitas gerado com os projetos de aproveitamento dos resíduos poderiam surtir efeitos positivos caso consistissem em medidas tomadas para além do cumprimento de responsabilidades ditadas pelo mercado (BARON, 2001). Deve-se levar em conta também um eventual aumento da pressão social dos consumidores (BARON; HARJOTO; JO, 2011) vez que ocorre ampliação nos mercados acessados pela usina, quando esta passa a vender também *pellet* de bagaço e metano da biodigestão da vinhaça. Isso implicaria em impactos positivos para o desempenho social empresarial (DSE) da empresa, e evitaria que tal pressão social implicasse negativamente no desempenho financeiro empresarial (DFE), ainda segundo Baron, Harjoto e Jo (2011).

Para que tenha sucesso a pesquisa voltada para os aspectos gerenciais dos projetos, na análise da viabilidade ampla dos mesmos, é necessário que haja suporte em informações mais bem sedimentadas de diferentes elementos sociais e ambientais que possam ter relação direta ou indireta com os processos produtivos, logísticos e mercadológicos dos projetos. Tais elementos podem ainda ser analisados em perspectivas mais amplas, para que a sustentabilidade do setor seja avaliada (HALE; MAUZERALL, 2004). Os aspectos socioambientais não considerados na análise segundo a metodologia RBMCA dão indicativo de quais informações poderiam ser consideradas relevantes na análise mais ampla da viabilidade dos projetos presentemente analisados. Por não considerar a maioria dos aspectos socioambientais potencialmente incluídos, a tomada de decisão teve resultado igual para o uso da RBMCA e para o VPL, embora a primeira tenha provido o tomador de decisão de maiores informações.

O uso da Simulação de Monte Carlo foi parte integrante da aplicação da RBMCA na pesquisa. Assim como afirmado por Metropolis e Ulam (1949), o uso da Simulação de Monte Carlo, e por consequência da RBMCA mostrou-se adequado pelo fato de o estudo se tratar de uma análise comparativa entre diferentes cenários hipotéticos, irreais, que não compreendiam, mesmo assim, intervalos de variação infinitos. As etapas da aplicação desse método foram idênticas àquelas propostas por Karmperis (2012) e apontadas por Kwak e Ingall (2007). O cálculo do valor esperado (VE), procedimento necessário à RBMCA, sobre os valores possíveis de cada um dos coeficientes B/C dos projetos é uma maneira de levar em consideração o comportamento das equações ao longo das alterações em suas variáveis, um dos propósitos do método apontado por Metropolis e Ulam (1949).

Pelo fato de ser a Simulação de Monte Carlo ainda pouco utilizada em comparação com suas potencialidades (KWAK; INGALL, 2007), o presente trabalho contribui para sua disseminação ao utilizá-la dentro de uma metodologia mais ampla, a RBMCA, e trazê-la ao setor sucroenergético. No entanto, é necessário ainda que haja um aprimoramento na qualidade das informações e que seja possível avaliar projetos com viabilidade mais próxima, para que os benefícios do uso do método sejam mais percebidos (KWAK; INGALL, 2007). O próprio fato de que o método ainda não está totalmente maduro, segundo os mesmos autores, implica na necessidade de mais trabalhos dedicados ao seu uso, aplicado a setores diferentes, ou no próprio setor sucroenergético, mas dedicado a projetos distintos e valendo-se de informações mais próximas possível da realidade. Para que seja possível aplicar a RBMCA em estudos que disponham de variáveis mais próximas da realidade, é necessário que haja um horizonte de tempo da pesquisa maior, ou que a tarefa de coleta dos dados fique incumbida aos próprios tomadores de decisão da usina, ou de qualquer outra instituição que disponha de valores reais.

O mesmo vale para os resultados das análises de sensibilidade. Conforme afirmado já no referencial teórico, tópico 2.9, a análise de sensibilidade aplicada neste trabalho é parte de um todo de possibilidades explorado por Jovanovic (1999). Não foi aplicada com o propósito de explorar os intervalos viáveis das variáveis, o que será relevante em estudos posteriores, mas apenas de indicar quais variáveis tinham maior impacto sobre o coeficiente B/C das equações e, por consequência, sobre a viabilidade dos projetos.

Nesse sentido, é bastante relevante o tomador de decisão observar, por exemplo, que a variável de maior impacto sobre a viabilidade dos projetos do palhiço é, nos dois casos analisados, a escala de produção, representada pela variável V31, ou a massa de cana recebida na usina por ano. Portanto, no caso do palhiço, ainda como exemplo, o preço de venda, da energia ou do bagaço, representa 29,87% e 90% do impacto representa a escala de produção, para as alternativas 1 e 2, respectivamente. Para um ambiente em que o tomador de decisão tem conhecimento da grande variabilidade dos preços de venda do bagaço, e que não ocorra o mesmo com os preços de venda da energia, é possível que a tomada de decisão final se altere. Esse fenômeno corrobora uma desvantagem apontada por Kwak e Ingall (2007), sobre o uso da Simulação de Monte Carlo, que diz respeito à impossibilidade de se levar em consideração alterações de rumo já durante a implantação dos projetos.

Em relação à metodologia RBMCA, sua aplicação no caso da usina objeto do presente estudo mostrou-se positiva, pois proveu de informações relevantes o tomador de decisão, ao expor

aspectos relativos ao risco nos projetos (KARMPERIS et al., 2012). O risco, aliás, é um elemento que tem sido relegado nas pesquisas dedicadas ao tema das alternativas de aproveitamento dos resíduos da cana, seja esse aproveitamento exclusivamente energético ou não, conforme indicou o levantamento bibliométrico. A necessidade de avançar as pesquisas dedicadas aos aspectos socioambientais da bioenergia (DAM; JUNGINGER; FAALJ, 2010) torna mais valioso o conteúdo do tópico 5.6, que contribui por resgatar as ainda poucas informações disponíveis sobre os cenários analisados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Depois de realizadas as etapas da pesquisa, realizado o levantamento bibliométrico e aplicada a RBMCA, faz-se necessário confrontar os resultados do trabalho com os objetivos inicialmente estabelecidos. O objetivo específico 1, que previa a apresentação de um resumo da atual situação da matriz energética brasileira e do papel da sucroenergia na mesma foi atingido. Tais informações constam no referencial teórico e foram alcançadas em dados secundários colhidos durante as primeiras etapas da pesquisa, atualizada até o momento da conclusão. Também como resultado dos dados secundários acessados, foi possível concluir o objetivo específico 2, a partir da apresentação do tópico referente aos resíduos da cana, no capítulo 2, Revisão da Literatura. O objetivo específico 3 foi concluído a partir de dados secundários e primários, obtidos junto à usina e aos consultores acessados.

As possibilidades de produção de energia, ou aproveitamento energético dos subprodutos ou resíduos da cana envolviam não somente a conversão da energia química em energia elétrica, a ser parcialmente utilizada pela usina e parcialmente vendida para a rede de distribuição. Envolviam também alternativas ligadas a outras formas de aproveitamento energético, como no caso da peletização do bagaço, para aproveitamento energético do subproduto por meio da combustão do briquete. Ou, ainda, as alternativas que envolviam remanejamento das quantidades de biomassa utilizadas em cogeração ou revendidas, para melhor aproveitamento de seus potenciais tanto energéticos como de mercado. O objetivo 3, portanto, foi alcançando e está presente na construção dos cenários utilizados nos modelos de análise, ou seja, nas alternativas consideradas para realização das análises.

Os objetivos 4 e 5 também foram atingidos e os resultados da pesquisa a eles relacionados estão presentes nos apêndices E, F e G, para o caso analisado da usina, bem como ao longo do capítulo 5, referente aos Resultados. Os objetivos específicos 6, 7, 8 e 9 foram todos relacionados à aplicação da RBMCA sobre os dados primários e secundários levantados sobre a usina e sobre os projetos que foram analisados. Em relação aos dois últimos objetivos, 8 e 9, os resultados do trabalho indicam que não foi possível alcança-los por completo. Tais objetivos, parcialmente atingidos, referem-se à profundidade dos dados referentes a aspectos socioambientais dos projetos. Houve dificuldades em encontrar tais dados, tanto dados primários como secundários que pudessem ser adequadamente adaptados à presente pesquisa. As informações e análises dispostas no tópico 5.6 buscaram alcançar a maior parte possível

dessas informações referentes aos aspectos socioambientais disponíveis, para que pudessem ser complementadas pelos resultados da RBMCA. Não é possível, no entanto, indicar se os projetos selecionados na RBMCA são os projetos com menor impacto negativo em aspectos socioambientais, ou com maiores impactos positivos. O aproveitamento energético desses subprodutos implica em alguns ganhos sociais e ambientais, indicados no tópico 5.6, mas pode implicar também em alguns riscos atrelados a tais aspectos socioambientais, riscos esses também apontados no mesmo tópico. Mais estudos são necessários para que a caracterização dos aspectos socioambientais e econômicos não contemplados na RBMCA possam ser internalizados no modelo de análise. Tal processo faz parte do amadurecimento natural das pesquisas dedicadas ao tema.

A opção por realizar a análise seguindo as orientações da metodologia RBMCA mostrou-se uma decisão correta e que contribui para que alguns objetivos fossem alcançados. O presente trabalho contribui, em complemento à realização desses objetivos, ao trazer à realidade brasileira a aplicação de uma metodologia recente e desenvolvida especificamente para a análise de viabilidade em projetos de gestão de resíduos, que considera um elemento até então pouco avaliado, o risco. Como maneira de compensar a carência de dados relativos a aspectos socioambientais dos projetos, os quadros e informações presentes no item 4.6 do trabalho vêm contribuir com a análise de viabilidade proposta e realizada pela metodologia RBMCA.

Já em relação aos projetos estabelecidos como alternativas no modelo de análise, a necessidade de estabelecer projetos que fossem viáveis pesou negativamente para a busca de alternativas de destinação nobre dos resíduos, conforme previamente estabelecido. Ainda assim, duas das alternativas analisadas mostraram-se inviáveis, as alternativas a_3 da vinhaça e a_1 do palhço. O etanol de segunda geração, contudo, pode vir a alterar o quadro apresentado. Por se tratar de uma alternativa voltada para o aproveitamento energético dos subprodutos da cana, é possível que sua implantação seja privilegiada assim que as tecnologias indicarem viabilidade industrial. Para as demais alternativas, deve-se levar em consideração o impacto positivo da diversificação de fontes de receita para a usina, notadamente para os casos da comercialização do biometano, da energia elétrica e do *pellet*.

Como maneira de incluir aspectos da sustentabilidade nas pesquisas dedicadas às alternativas de aproveitamento energético dos subprodutos da cana sob a perspectiva técnica e sob a perspectiva gerencial, como ocorre com a presente pesquisa, é necessário que mais pesquisadores dediquem-se a desenvolver e aplicar metodologias que possam expor os

aspectos da sustentabilidade dos projetos, como a análise de ciclo de vida. A partir dessas análises, as demais pesquisas terão à disposição informações mais aprofundadas sobre tais aspectos. Neste ponto, é necessário que ocorra uma análise crítica dos caminhos que a pesquisa no tema pode tomar: à medida que não há conhecimento produzido a respeito dos elementos da sustentabilidade dos projetos, a análise de viabilidade das alternativas de aproveitamento energético dos subprodutos da cana passa a considerar menos externalidades positivas ou negativas, que poderiam alterar o resultado final da tomada de decisão.

Por outro lado, o próprio fato de as soluções tecnológicas aplicáveis serem ainda objeto de pesquisas que possam lhes conferir viabilidade técnica em escala industrial torna o tema dos aspectos socioambientais recente para o setor: sem que haja viabilidade técnica industrial das alternativas, considerar os aspectos da sustentabilidade desses projetos se torna secundário, ao mesmo tempo em que não se deve levar o setor a implantar projetos que se mostrem inviáveis do ponto de vista socioambiental.

6.1 Restrições da pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida e aplicada sobre variáveis não controláveis, em um ambiente humano e técnico complexo. Disso resulta grande parte das limitações encontradas em seu desenvolvimento. As dificuldades na busca de informações e dados que pudessem auxiliar no desenvolvimento das planilhas de variáveis e na construção das equações foi o fator mais limitante ao progresso total da pesquisa. Mesmo com a abertura irrestrita por parte da usina de suas informações até o ponto em que foram coletadas, como ocorre comumente na pesquisa em Administração, há parte das informações que não são coletadas pela própria usina, ou pelos consultores acessados, o que dificulta a análise de viabilidade.

A determinação dos intervalos de variação das variáveis, com estabelecimento de valores mínimos e máximos, foi uma das etapas da RBMCA mais difíceis de cumprir em razão dessa limitação de informações. Por conta disso, tal aspecto pode prejudicar a qualidade e veracidade das informações obtidas a partir da Simulação de Monte Carlo e análise de sensibilidade. Embora estabelecer esses intervalos tenha sido tarefa difícil, boa parte das variáveis, pôde receber valores de intervalo satisfatoriamente, a partir das informações disponibilizadas. Um ponto ideal, dificilmente alcançável para pesquisas acadêmicas ou não,

seria estabelecer um histórico de valores das variáveis e construir os valores mínimo e máximo, bem como o comportamento de variação, em cima desse histórico. Como à medida que se aprofundam as informações sobre os projetos tende-se a incluir mais variáveis, fica cada vez mais complexa a utilização de histórico de valores.

Por fim, este trabalho vem contribuir para um processo ainda inacabado de desenvolvimento das informações a respeito das alternativas de aproveitamento energético dos subprodutos da cana, o que encerra em si uma limitação: por ser ainda incompleto, significa que esse processo de desenvolvimento das informações traz à tona, à medida que as pesquisas avançam, mais informações que podem alterar o quadro de viabilidade dos projetos, incluir novos projetos como relevantes para análise, e incluir novas variáveis de análise. Deve-se destacar, neste último, as variáveis referentes a aspectos socioambientais, tema que carece ainda de mais pesquisas que possam prover os estudos de viabilidade de informações relevantes.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

Ao se levarem em conta variáveis e aspectos socioambientais em projetos de gestão de resíduos para a cana de açúcar, fica evidente que o processo de esclarecimento dessas variáveis e quantificação das mesmas ainda está em desenvolvimento, o que dificultou sua inclusão no presente estudo, como ressaltado. Contribuirá para o avanço nas pesquisas do tema, portanto, trabalhos dedicados a explorar tais variáveis, quantificá-las e explorar casos que possam exemplificar sua análise, por exemplo. Os elementos do quadro presente no apêndice D também ilustram alguns aspectos que podem ser relevantes em estudos futuros.

Todas as variáveis apresentadas no item 4.6, que podem ser também variáveis decisivas em um processo de tomada de decisão mais amplo, que leve em consideração a sustentabilidade ampla dos projetos, merecem estudos mais aprofundados. Nesse sentido, mostra-se importante a aplicação de análises de ciclo de vida de produtos do aproveitamento desses resíduos da cana. Como o processo de internalização das externalidades positivas e negativas é longo e gradual, é possível que pesquisas passem a reorganizar a viabilidade das alternativas, tanto aquelas consideradas no presente estudo como as demais.

De maneira semelhante, as metodologias de apoio à tomada de decisão, que auxiliam na análise de viabilidade, para projetos em gestão de resíduos ainda não estão completamente

maduras. Tal fator pode ser ainda mais acentuado no caso dos projetos voltados para o aproveitamento energético de resíduos, ou para os resíduos agroindustriais. Embora a aplicação da metodologia RBMCA tenha se mostrado possível na maior parte de seus aspectos para o presente estudo, o desenvolvimento de tais metodologias poderá também auxiliar no amadurecimento da pesquisa voltada para a análise de viabilidade em projetos dentro do escopo presentemente proposto.

Além disso, as análises mais aprofundadas das informações disponibilizadas tanto pela análise de sensibilidade como pela RBMCA, ou pela Simulação de Monte Carlo isoladamente, só serão possíveis com o desenvolvimento de trabalhos futuros também dedicados ao tema.

Por fim, outro aspecto que pode auxiliar na análise de fatores socioambientais nesses projetos é a busca dos interessados nos mesmos, para além da própria usina, seu mercado consumidor ou funcionários. Trazer à tona tais interessados será relevante porque isso permitirá verificar quais são seus interesses e como eles podem ser medidos para que, por fim, possam ser mediados ante os demais interesses envolvidos.

REFERÊNCIAS

- ABIPEL - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE PELLETS. **Pellets de Madeira**: Mercado em crescimento. 2012. Disponível em: <http://www.abipel.com.br/media/doc/ABIPEL__Pellets_e_o_mercado_em_crescimento.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2013.
- ABRANCHES, S. Um desafio imediato de grau singular: a mudança climática global e o desenvolvimento brasileiro. **Revista Plenarium**, Brasília, ano V, n. 5, p. 148-167, out. 2008.
- AKHTAR, M. et al. Low cost sorbents for the removal of methyl parathion pesticide from aqueous solutions. **Chemosphere**, v. 66, n. 10, p. 1829-1838, 2007.
- ALVES, J. O. et al. Catalytic conversion of wastes from the bioethanol production into carbon nanomaterials. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 106, p. 433-444, 2011.
- BAJAY, S. V.; NOGUEIRA, L. A. H.; SOUSA, F. J. R. O etanol na matriz energética brasileira. In: SOUSA, E. L. L.; MACEDO, I. (Coord.). **Etanol e Bioeletricidade**: A cana-de-açúcar no futuro da matriz energética. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, UNICA (Patrocinador), 2010. p. 76-97.
- BALAKRISHNAN, M.; BATRA, V. S. Valorization of solid waste in sugar factories with possible applications in India: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 11, p. 2886-2891, Nov. 2011.
- BALSADI, O. V.; GOMES, E. G. Mercado de trabalho assalariado na cana-de-açúcar: uma análise das regiões tradicionais no período de 1992-2006. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 20 a 23 jul. 2008, Rio Branco, AC. **Anais do XLVI SOBER**. Acre: SOBER, 2008.
- BARON, D. P. Private Politics, Corporate Social Responsibility, and Integrated Strategy. **Journal of Economics & Management Strategy**, v. 10, n. 1, p. 7-45, 2001.
- BARON, D. P.; HARJOTO, M. A.; JO, H. The Economics and Politics of Corporate Social Performance. **Business and Politics**, v. 13, n. 2, 2011.
- BAUDEL, H. M.; ZAROR, C.; ABREU, C. A. M. Improving the value of sugarcane bagasse wastes via integrated chemical production systems: an environmentally friendly approach. **Industrial Crops and Products**, v. 21, n. 3, p. 309-315, 2005.
- BBC. Nuclear watchdog wants new safety checks after Fukushima. **BBC News**. Asia-Pacific. June 2011. Disponível em: <<http://www.bbc.co.uk/news/world-asia-pacific-13835554>>. Acesso em: 21 jun. 2011.
- BONSUCRO. Better Sugar Cane Initiative Ltd. **Bonsucro Production Standard**, version 3.0, March 2011. Disponível em: <http://www.bonsucro.com/assets/Bonsucro_Production_Standard_March_2011_3.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2012.

BRANCO, R. F.; SANTOS, J. C.; SILVA, S. S. A novel use for sugarcane bagasse hemicellulosic fraction: Xylitol enzymatic production. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 7, p. 3241-3246, 2011.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008. 233 p.

BRINGHENTI, L.; CABELLO, C.; URBANO, L. H. Fermentação alcoólica de substrato amiláceo hidrolisado enriquecido com melaço de cana. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 429-432, 2007.

BRITO, F. L. S. Biodigestão anaeróbia em duplo estágio do bagaço de cana-de-açúcar para obtenção de biogás. 2011. 170 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, UFMG. Belo Horizonte, 2011.

BUCKERIDGE, M. S.; SANTOS, W. D.; SOUZA, A. P. As rotas para o etanol celulósico no Brasil. In: CORTEZ, L. A. B. (Org). **Bioetanol da cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Edgard Blucher, 2010. p. 365-380.

BUSATO, J. G. et al. Humic substances isolated from residues of sugar cane industry as root growth promoter. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 2, p. 206-212, 2010.

CARDONA, C. A.; QUINTERO, J. A.; PAZ, I. C. Production of bioethanol from sugarcane bagasse: Status and perspectives. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 4754-4766, 2010.

CARVALHO, W.S. et al. Phosphate adsorption on chemically modified sugarcane bagasse fibres. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 9, p. 3913-3919, 2011.

CASTRO, F. Especialistas debatem energia nuclear pós-Fukushima. **Revista Exame.com**. São Paulo, mar. 2011. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/tecnologia/ciencia/noticias/especialistas-debatem-energia-nuclear-pos-fukushima>>. Acesso em: 21 jun. 2011.

CASTRO, G. A. et al. Solvent extraction of organic acids from stillage for its re-use in ethanol production process. **Waste Management & Research**, v. 28, n. 6, p. 533-538, 2010.

CASTRO, N. J. et al. A Importância das Fontes Alternativas e Renováveis na Evolução da Matriz Elétrica Brasileira. In: SEMINÁRIO DE GERAÇÃO DE ENERGIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 5., 25 ago. 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Fundación MAPFRE/INSAPER, 2009.

CASTRO, N. J.; DANTAS, G. A.; BRANDÃO, R. **Importância e perspectivas da bioeletricidade sucroenergética na matriz elétrica brasileira**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://www.unica.com.br/downloads/estudosmatrizenergetica/pdf/Matriz_Bioeletricidade_Castro5.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2010.

CENBIO. Centro Nacional de Referência em Biomassa. Nota técnica VII, Geração de energia a partir do biogás gerado por resíduos urbanos e rurais. 2001. Disponível em:<

<http://cenbio.iee.usp.br/download/documentos/Nota%20t%E9cnica%20VII%20-%20biog%E1s.pdf>>. Acesso em: 08 julho 2013.

CEPEA. **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada** - ESALQ/USP. Indicador Semanal Etanol Hidratado Combustível - Estado de São Paulo. 2013. Disponível em: <<http://cepea.esalq.usp.br/etanol/>>. Acesso em: 02 ago. 2013.

CETESB. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**. Institucional. São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>> . Acesso em: 12 jun. 2012.

CETESB. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**. Institucional. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>> . Acesso em: 08 jul. 2013.

COCK, L. S.; STOUVENEL, A. R. Lactic acid fermentative production using waste from the harvest of green sugar cane as a substrate. **Interciencia**, v. 32, n. 5, p. 328-332, 2007.

COOPER, D.; SCHINDLER, P. **Métodos de Pesquisa em Administração**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.

DAM, J. van; JUNGINGER, M.; FAAIJ, A. P. C. From the global efforts on certification of bioenergy towards an integrated approach based on sustainable land use planning. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 14, n. 9, p. 2445-2472, 2010.

DAWSON, L.; BOOPATHY, R. Use of post-harvest sugarcane residue for ethanol production. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 9, p. 1695-1699, 2007.

DE PAOLI, F. et al. Utilization of by-products from ethanol production as substrate for biogas production. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 11, p. 6621-6624, 2011.

DEFILLIPI FILHO, L.C. **Estudo de viabilidade do uso do palhico para geração de energia na entressafra de uma usina sucroenergética**. 2013. 133 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas – EESP/FGV, São Paulo, 2013.

EC - EUROPEAN COMMISSION. **Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects, Directorate General Regional Policy**. Brussels, 2008. Disponível em: <http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/guides/cost/guide2008_en.pdf>. Acesso em: 9 jul. 2012.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2012: Resultados Preliminares** – ano base 2011. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2012.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2013: Relatório Síntese** – ano base 2012. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2013_Web.pdf> . Acesso em: 23 ago. 2013.

ESHET, T.; AYALON, O.; SHECHTER, M. Valuation of externalities of selected waste management alternatives: A comparative review and analysis. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 46, n. 4, p. 335-364, 2006.

FARINAS, C. S.; LEMO, V.; RODRÍGUEZ-ZÚÑIGA, U. F.; COURI, S. Avaliação de Diferentes Resíduos Agroindustriais como Substratos para a Produção de Celulases por Fermentação Semi-sólida. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, São Carlos, Embrapa, n. 22, 2008.

FERREIRA, L. F. R. et al. Evaluation of sugar-cane vinasse treated with *Pleurotussajor-caju* utilizing aquatic organisms as toxicological indicators. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 74, n. 1, p. 132-137, 2011.

FIGUEIREDO, C. B.; FARIAS FILHO, J. R. Os impactos sociais dos biocombustíveis. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 5., 2, 3 e 4 jul. 2009, Niterói. **Anais** Niterói: LATEC/UFF, 2009.

GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; THANGAVEL, K. Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. **Cement & Concrete Composites**, v. 29, n. 6, p. 515-524, 2007.

GEORGE, P. A. O. et al. Residue from Sugarcane Juice Filtration (Filter Cake): Energy Use at the Sugar Factory. **Waste & Biomass Valorization**, v. 1, n. 4, p. 407-413, 2010.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; GASOL, C. M.; GABARRELL, X.; RIERADEVALL, J.; MOREIRA, M. T.; FEIJOO, G. Environmental profile of ethanol from poplar biomass as transport fuel in Southern Europe. **Renewable Energy**, v. 35, n. 5, p. 1014-1023, May 2010.

GOLDEMBERG, J. Energia de biomassa e centrais hidrelétricas são ideais para atender o crescimento da demanda brasileira. **Bacia do Pardo em Revista**, edição especial, jun.-jul. 2010.

GRISOLI, R.; COELHO, S. T.; MATAI, P. H. L. S. Energia microbiológica. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, v. 4, n. 2, Artigo 3, maio/ago. 2009.

GUPTA, N.; TRIPATHI, S.; BALOMAJUMDER, C. Characterization of pressmud: A sugar industry waste. **Fuel**, v. 90, n. 1, p. 389-394, 2011.

HALE, T. N.; MAUZERALL, D. L. Thinking Globally and Acting Locally: Can the Johannesburg Partnerships Coordinate Action on Sustainable Development? **Journal of Environment & Development**, v. 13, n. 3, p. 220-239, set. 2004.

HAIR, J. F. JR. et al. **Fundamentos de Métodos de Pesquisa em Administração**. Porto Alegre: Bookman, 2003.

HOFFELDER, J. *Pellets* de bagaço de cana de açúcar na matriz energética. 2011. 41 p. Dissertação (Trabalho de diplomação em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS. Porto Alegre, 2011.

HUNG, M-L.; MA, H-W.; YANG, W-F. A novel sustainable decision making model for municipal solid waste management. **Waste Management**, v. 27, n. 2, p. 209-219, 2007.

IAB - INSTITUTO ACENDE BRASIL. **2º Leilão de fontes alternativas, análise pós-leilão**. 2010. Disponível em: <<http://www.acendebrasil.com.br/site/paginas/leiloes.asp>>. Acesso em: 15 jun. 2013.

IDB - INTER-AMERICAN DEVELOPMENT BANK. IDB Biofuels Sustainability Scorecard. **Sources and Reference Materials**, version one, 2009. Disponível em: <<http://www.iadb.org/biofuelsscorecard/>>, Acesso em: 10 July 2012.

IPEADATA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Base de Dados**. 2013. Disponível em:<<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 10 jun. 2013.

ISLAM, M. R.; PARVEEN, M.; HANIU, H. Properties of sugarcane waste-derived bio-oils obtained by fixed-bed fire-tube heating pyrolysis. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 11, p. 4162-4168, 2010.

JACK, E. P.; RATURI, A. S. Lessons learned from methodological triangulation in management research. **Management Research News**, v. 29, n. 6, p. 345-357, 2006.

JOVANOVIĆ, P. Application of sensitivity analysis in investment project evaluation under uncertainty and risk. **International Journal of Project Management**. V.17, n.4, p.217-222, 1999.

KARMPERIS, A. C. et al. Waste management project's alternatives: A risk-based multi-criteria assessment (RBMCA) approach. **Waste Management**, n. 32, n. 1, p. 194-212, 2012.

KWAK, Y.H.; INGALL, L. Exploring Monte Carlo simulation applications for project management. **Risk Management**. V.9, p.44-57, 2007.

LAMONICA, H.M. Potencial de geração de excedentes de energia elétrica com o biogás produzido a partir da biodigestão da vinhaça na indústria sucro-alcooleira brasileira.. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., Campinas, 2006. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000200027&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 29 julho 2013.

LI, H.; WANG, L.; SHEN, L. Potential CO₂ Emission Reduction by Development of Non-Grain-Based Bioethanol in China. **Environmental Management**, v. 46, n. 4, p. 555-564, 2010.

LIBONI, L. B. **Perfil da mão de obra do setor sucroalcooleiro: tendências e perspectivas**. 2009, 201 f. Tese (Doutorado em Administração) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2009.

LIMA, S. A. et al. Concretos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar: avaliação da durabilidade por meio de ensaios de carbonatação e abrasão. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 201-212, 2011.

LORA, E. S.; ANDRADE, R. V. Biomass as Energy Source in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 4, p. 777-788, 2009.

LUZ, S. M.; CALDEIRA-PIRES, A.; FERRÃO P. M. C. Environmental benefits of substituting talc by sugarcane bagasse fibers as reinforcement in polypropylene composites: Ecodesign and LCA as strategy for automotive components. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 12, p. 1135-1144, 2010.

MARLOW, D. et al. A framework for considering externalities in urban water asset management. **Water Science & Technology**, v. 64, n. 11, p. 2199-2206, 2011.

MARQUES, G. O. **Análise da Inserção Brasileira na Rede de Geração e Fluxo de Conhecimentos e Técnicas Relacionados ao Desenvolvimento do Etanol Celulósico**: Uma Abordagem Baseada em Elementos da Teoria Econômica Evolucionária. 2008. 78 f. Monografia (Graduação em Economia)- Faculdade de Ciências e Letras de Araraquara-UNESP, Araraquara, 2008.

MATIAS, A. B. (org). **Finanças Corporativas de Longo Prazo**: Criação de Valor com Sustentabilidade Financeira. São Paulo: Atlas, 2007. 301 p.

MEIRA FILHO, L. G.; MACEDO, I. C. Contribuição do etanol para a mudança do clima. In: SOUSA, E. L. L.; MACEDO, I. (Coord.). **Etanol e Bioeletricidade**: A cana-de-açúcar no futuro da matriz energética. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, UNICA (Patrocinador), p. 76-97, 2010.

METROPOLIS, N.; USLAM, S. The Monte Carlo Method. **Journal of the American Statistical Association**. v.44, n.247, p.335-341, 1949.

MIRANDA, I. C. **Aproveitamento energético a partir de resíduos de Biomassa**: bagaço e palha de cana-de-açúcar. 2009. 175 f. Dissertação (Mestrado em Ciências - Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos)-Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

NERI - NATIONAL ENVIRONMENTAL RESEARCH INSTITUTE. **Emission factors, stationary combustion main 2005**. 2005. Disponível em:<
http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Miljoe-tilstand/3_luft/4_adai/tables/emf_stat_combustion_main_2005.html>. Acesso em: 01 jul. 2013.

NEVES, M. F.; CONEJERO, M. A. **Estratégias para a cana no Brasil**. São Paulo: Atlas, 2010.

NIGRO, F; SZWARC, A. O etanol como combustível. In: SOUSA, E. L. L.; MACEDO, I. (Coord.). **Etanol e Bioeletricidade**: A cana-de-açúcar no futuro da matriz energética. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, UNICA (Patrocinador), p. 154-189, 2010.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais e o Brasil: por que devemos nos preocupar. **Revista Plenarium**, Brasília, ano V, n. 5, p. 12-20, out. 2008.

OLIVEIRA, L. B.; HENRIQUES, R. M.; PEREIRA JR, A. O. Uses of wastes as option for the mitigation of CO₂ emissions in the Brazilian power sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 9, p. 3247-3251, 2010.

OLIVEIRA, R. P. S. et al. Use of Sugar Cane Vinasse to Mitigate Aluminum Toxicity to *Saccharomyces cerevisiae*. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 57, n. 3, p. 488-494, 2009.

OU, S. Y. et al. Production of coumaric acid from sugarcane bagasse. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 10, n. 2, p. 253-259, 2009.

PANDEY, A. et al. Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: sugarcane bagasse. **Bioresource Technology**, v. 74, n. 1, p. 69-80, Aug. 2000.

PASSOS, R. R.G. Avaliação Energético-Econômica da Utilização da Vinhaça Via Biogás ou Evaporação Seguida de Incineração. In: 4º Simpósio de Trabalhos de Formatura em Engenharia Mecânica, TECMEC. Poli, USP, 2009.

PAULA, M. O. et al. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 353-357, 2009.

PIPPPO, W. A. et al. Energy Recovery from Sugarcane-Trash in the Light of 2nd Generation Biofuels. Part 1: Current Situation and Environmental Aspects. **Waste & Biomass Valorization**, v. 2, n. 1, p. 1-16, Feb. 2011.

PLAZA, C. A.; SANTOS, N.; SANTOS, M. O. O Brasil no âmbito das energias renováveis: biocombustíveis e suas celeumas socioambientais. **Prismas: Dir., Pol. Publ. e Mundial**, Brasília, v. 6, n. 2, p. 305-328, 2009.

RAFTERY, J. **Risk Analysis in project management**. England: Taylo & Francis e-Library, 2003.

RAMOS, N. P. et al. Efeito da vinhaça no desenvolvimento inicial de girassol, mamona e amendoim em casa de vegetação. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 685-692, 2008.

RENÓ, M. L. G. et al. A LCA (life cycle assessment) of the methanol production from sugarcane bagasse. **Energy**, v. 36, n. 6, p. 3716-3726, 2011.

REIS, L. B. **Matrizes Energéticas: Conceitos e usos em Gestão e Planejamento**. Barueri, SP: Manole, 2011.

RIBAS, M. M. F.; CHINALIA, F. A.; POZZI, E.; FORESTI, E. Microbial Succession Within an Anaerobic Sequencing Batch Biofilm Reactor (ASBBR) Treating Cane Vinasse at 55°C. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, n. 4, p. 1027-1036, July-Aug. 2009.

SALES, A.; LIMA, S. A. Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. **Waste Management**, v. 30, n. 6, p. 1114-1122, 2010.

SALOMON, K. R. **Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade**. 2007. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Instituto de Engenharia Mecânica, UNIFEI, Itajubá, 2007.

SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S.; MONROY, E. F. C. Custo do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça e sua utilização. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 8, Cusco, out., 2007. **Anais...** Cusco, 2007.

SANTOS, A.T. Polímero, Palhiço e sistema de plantio em cana-de-açúcar. 2011. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, UNOESTE, Presidente Prudente, 2011.

SEKAB. **SEKAB Sustainability Criteria**. 2009. Disponível em: <<http://www.sustainableethanolinitiative.com/default.asp?id=1087>>. Acesso em: 24 jun. 2011.

SENER, S. et al. Combining AHP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). **Waste Management**, v. 30, n. 11, p. 2037-2046, 2010.

SCHAFFEL, S. B.; LA ROVERE, E. L. The quest for eco-social efficiency in biofuels production in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, n.18, p. 1663-1670, 2010.

SHIMIZU, T. **Decisão nas Organizações**: introdução aos problemas de decisão encontrados nas organizações e nos sistemas de apoio à decisão. São Paulo: Atlas, 2001.

SILALERTRUKSA, T.; GHEEWALA, S. H. Long-Term Bioethanol System and Its Implications on GHG Emissions: A Case Study of Thailand. **Environmental Science Technology**, n. 45, p. 4920-4928, 2011.

SILVA, F. et al. Molasses as an external carbon source for anaerobic treatment of sulphite evaporator condensate. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 6, p. 1943-1950, 2009.

SILVA, C. G. Por que fazer pesquisa básica em bioenergia? **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 13, n. 26, p. 8-22, 2008.

SOUZA, A. E. et al. Reuse of sugarcane bagasse ash (SCBA) to produce ceramic materials. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 10, p. 2774-2780, 2011.

SOUZA, R. T. G. Análise de viabilidade técnica-econômica do uso do palhiço, para fins de cogeração de energia, pela rota colheita integral. 2012. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas, 2012.

THANGARAJ, A.; KULANDAIVELU, G. Biological hydrogen photoproduction using dairy and sugarcane waste waters. **Bioresource Technology**, v. 48, n. 1, p. 9–12, 1994.

TEIXEIRA, S. R. et al. Sugarcane Bagasse Ash as a Potential Quartz Replacement in Red Ceramic. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 91, n. 6, p. 1883-1887, 2008.

TEIXEIRA, S. R.; PENA, A. F. V.; MIGUEL, A. G. Briquetting of charcoal from sugar-cane bagasse fly ash (scbfa) as an alternative fuel. **Waste Management**, v. 30, n. 5, p. 804-807, 2010.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: Uma prospectiva. **Revista Novos Estudos**, Centro Brasileiro de Análise e Planejamento (CEBRAP), São Paulo, n. 79, p. 47-69, nov. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/nec/n79/03.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2011.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **Relatório de Sustentabilidade 2008**. 2008. Disponível em: <<http://tinyurl.com/6gpcgf7>>. Acesso em: 22 jun. 2011.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-açúcar. **Previsão safra 2012/2013**. 2012. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=40>>. Acesso em: 22 jan. 2013.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **Relatório final da safra 2011/2012, Região Centro-Sul**. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=72>>. Acesso em: 22 jan. 2013.

VAN BELLEN, H. M. Desenvolvimento sustentável: uma descrição das principais ferramentas de avaliação. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 67-87, jan./jun. 2004 .

WELLS, P.; FARO, T. Eco-efficiency, self-sufficiency and sustainability in transport: The limits for Brazilian sugarcane ethanol policy. **Natural Resources Forum**, v. 35, n. 1, p. 21-31, Feb. 2011.

WILLIAMS, P. R. D.; INMAN, D.; ADEN, A.; HEATH, G. A. Environmental and Sustainability Factors Associated With Next-Generation Biofuels in the U.S.: What Do We Really Know? **Environmental Science & Technology**, v. 43, n. 13, p. 4763-4775, May 2009.

ZHAO, X.; WU, R.; LIU, D. Production of pulp, ethanol and lignin from sugarcane bagasse by alkali-peracetic acid delignification. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 7, p. 2874-2882, 2011.

APÊNDICES

APÊNDICE A: Roteiro de entrevista – delineamento dos resíduos e análises

- 1- Os indicadores propostos, BID e BONSUCRO são adequados para análise de viabilidade de alternativas em resíduos?
- 2- Quais dos resíduos (apontar tabela utilizada: Bichara e Filho (1991 apud MIRANDA, 2009)) você considera que mais necessitam de uma pesquisa de viabilidade para as alternativas de destinação? Por qual razão selecionou tais resíduos? Há algum outro que deveria ser estudado?
- 3- Conhece alternativas de utilização ou destinação desses resíduos? As indicadas na pesquisa prévia (do levantamento bibliométrico) são conhecidas pelo mercado? Seria possível levantar números para avaliar sua aplicação nas empresas estudadas?
- 4- Quais variáveis, especificamente, devem ser analisadas para verificar produtividade e viabilidade das alternativas para os resíduos selecionados.

Exemplo: (1) volume produzido; (2) custos de transporte; (3) poluentes emitidos em armazenagem, transporte e processamento; (4) mão-de-obra empregada para processamento do resíduo; (5) volume de output produzido no processamento do resíduo; (6) retorno obtido com o output: receita; abatimento de imposto etc.

- 5- Você conhece alguma técnica de análise utilizada no setor para avaliação de resíduos?
- 6- Em quais usinas da região é mais provável haver disponibilidade dessas informações para a pesquisa?

APÊNDICE B: Roteiro de entrevista - Usina

1. Resíduos, alternativas e suas variáveis:

1.1 Quais são os principais resíduos produzidos pela Usina?

1.2 Em relação aos resíduos, é possível levantar dados e valores de variáveis relativas a projetos de destinação? Exemplos:

- Volume de resíduo produzido;
- Custo de transporte do resíduo;
- Custo de processamento;
- Custo de armazenagem;
- Custo de mão-de-obra envolvida na destinação do resíduo;
- Retorno obtido com a destinação.

1.3 Há um histórico dos valores referentes a cada uma das variáveis relacionadas aos projetos de destinação?

1.4 A Usina consegue atribuir valores mínimos e máximos possíveis para cada uma das variáveis? (explicar o procedimento de atribuição de valores, com acompanhamento de responsável técnico)

1.5 A Usina consegue atribuir valores referentes às externalidades positivas e negativas nos projetos de destinação de resíduos?

1.6 É relevante apontar a alternativa mais viável de destinação dos resíduos, para a tomada de decisão?

2. As alternativas de destinação disponíveis:

2.1 Que procedimentos de destinação desses resíduos são atualmente adotados?

2.2 Há perspectiva de utilização de outras opções de destinação? Quais?

2.3 Da listagem de alternativas abaixo, a Usina tem conhecimento da existência de alguma delas? Qual(is)?

(VER LISTA ABAIXO)

2.4 Além dessas alternativas, há outras não listadas de conhecimento da Usina?

2.5 Há na usina um procedimento ou política de busca por novas alternativas de destinação dos resíduos?

LISTA DE ALTERNATIVAS DE DESTINAÇÃO:

RESÍDUO	ALTERNATIVA
TORTA DE FILTRO	PRODUÇÃO DE BIOGÁS DESENVOLVIMENTO VEGETAL/ENRIQUECIMENTO DO SOLO PREVENÇÃO DA EROSÃO COMBUSTÃO ASSOCIADA A BAGAÇO (COOGERAÇÃO)
VINHAÇA	DESENVOLVIMENTO VEGETAL/ENRIQUECIMENTO DO SOLO MITIGADORA DE ELEMENTOS TÓXICOS (QUELANTE DE ALUMÍNIO IÔNICO)
MELAÇO	TRATAMENTO DE POLUENTE (FONTE DE CARBONO) PRODUÇÃO DE ETANOL
CINZA DO BAGAÇO	ADUBAÇÃO ORGÂNICA SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAIS EM CONCRETO PRODUÇÃO DE CERÂMICA ABSORVENTE DE PESTICIDA EM SOLUÇÃO AQUOSA FONTE DE ENERGIA (BRIQUETES)
BAGAÇO	PRODUÇÃO DE ETANOL PRODUÇÃO DE OUTROS BIOCOMBUSTÍVEIS PRODUÇÃO DE ÁCIDO CUMÁRICO PRODUÇÃO DE XILITOL AGENTE ADSORVENTE OU MITIGADOR DE POLUENTES
RESÍDUOS DE COLHEITA	PRODUÇÃO DE ETANOL PRODUÇÃO DE ÁCIDO LÁTICO COMBUSTÃO ASSOCIADA A BAGAÇO (COOGERAÇÃO) COBERTURA DO SOLO
ÁGUAS RESIDUAIS	GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO

APÊNDICE C: Formulário de controle de disponibilidade das variáveis

O formulário a seguir representa o roteiro aplicado na usina para verificação da disponibilidade de informações, como etapa prévia à análise dos dados segundo a metodologia RBMCA. O gestor deve indicar, segundo a legenda, a disponibilidade das informações como direcionamento do levantamento de dados primários.

VARIÁVEIS	TORTA DE FILTRO	VINHAÇA	MELAÇO	CINZA DO BAGAÇO	BAGAÇO	RESÍDUOS DE COLHEITA	ÁGUAS RESIDUAIS
1.1 VOLUME PRODUZIDO	H	H	H	H	H	M	H
2.0 CUSTO DE ARMAZENAMENTO	N	N	N	N	N	N	N
3.0 CUSTO DE TRANSPORTE	H	H	H	D	H	M	N
3.1 CUSTO DE CONSTRUÇÃO/INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTE E DUTOS INTERNOS	N	N	N	N	N	N	D
3.2 CUSTO DE MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTE E DUTOS INTERNOS	N	H	H	D	H	N	H
3.3 CUSTO DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO POR TONELADA	H	H	H	M	H	M	N
4.0 VOLUME/PARCELA DO RESÍDUO REUTILIZADA	H	H	H	H	H	M	H
5.0 CUSTO DE PROCESSAMENTO DO RESÍDUO	H	H	H	H	H	M	H
5.1 CUSTO COM MÃO DE OBRA	H	H	H	H	H	M	H
5.2 CUSTO DE MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE PROCESSAMENTO	H	H	H	D	H	N	D
5.3 OUTROS CUSTOS ENVOLVIDOS	N	N	N	N	N	N	N
6.0 ECONOMIA DE FERTILIZANTES/INSUMOS AGRÍCOLAS	M	M	M	M	M	M	M
7.0 PREÇO DE REVENDA DO RESÍDUO PROCESSADO (INCLUSIVE ENERGIA GERADA)	N	N	N	N	H	N	N
7.1 PREÇO DE REVENDA DO RESÍDUO BRUTO	N	N	N	N	N	N	N
8.0 ENCARGOS DECORRENTES DA PRODUÇÃO DO RESÍDUO	N	N	N	N	N	N	N
8.1 ISENÇÃO FISCAL COM APROVEITAMENTO DO RESÍDUO	N	N	N	N	N	N	N
9.0 EMISSÃO DE POLUENTES DECORRENTES DO PROCESSAMENTO DO RESÍDUO	N	N	N	N	N	N	N
9.1 EMISSÃO DE POLUENTES DECORRENTES DO TRANSPORTE DO RESÍDUO	N	N	N	N	N	N	N
9.2 EMISSÃO DE POLUENTES DECORRENTES DA ARMAZENAGEM DO RESÍDUO	N	N	N	N	N	N	N
10.0 EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DECORRENTES DO PROCESSAMENTO DO RESÍDUO	N	N	N	N	N	N	N
10.1 EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DECORRENTES DO TRANSPORTE DO RESÍDUO	N	N	N	N	N	N	N

10.2 EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DECORRENTES DA ARMAZENAGEM DO RESÍDUO	N	N	N	N	N	N	N
--	---	---	---	---	---	---	---

Legenda:

D - a informação está **disponível**, mas não há um histórico da mesma;

H - a informação está disponível e há um **histórico** que poderemos ter acesso;

M - a informação não está disponível, mas é possível **medir** ou obter os valores para desenvolvimento da pesquisa;

N - a informação **não** se aplica ao resíduo, ou não está disponível e não é possível medi-la para desenvolvermos a pesquisa.

APÊNDICE D: Externalidades potencialmente incluídas nas análises

EXTERNALIDADES CONSIDERÁVEIS E SUAS VARIÁVEIS	
ETAPAS	DETALHAMENTO
ETAPA DE COLETA	
Equipamentos utilizados na coleta	dado qualitativo
Energia consumida	Mw/h mês
Tipo de energia consumida	dado qualitativo
Poluentes e GEEs emitidos na produção da energia consumida	dado qualitativo
Valor monetário do volume de poluente ou GEEs resultante da energia consumida	Segundo valores atualizados levantados em Eshet, Ayalon e Shechter (2006)
Uso de mão de obra na coleta	S/N
Resíduo coletado	dado qualitativo
Riscos à saúde do contato com o resíduo	dado qualitativo
Utilização de equipamentos de segurança	dado qualitativo
Gastos com saúde por questões ocupacionais	em R\$. Esta externalidade pode ser desconsiderada dos cálculos e apresentada como aspecto qualitativo
ETAPA DE TRANSPORTE	
Distância percorrida no transporte do resíduo	km
Consumo de combustível do veículo	l/km
Poluentes e GEEs emitidos do combustível consumido	dado qualitativo
Valor monetário do volume de poluente ou GEEs resultante	Segundo valores atualizados levantados em Eshet, Ayalon e Shechter (2006)
Impactos dos veículos nas vias públicas	R\$/km. Esta externalidade pode ser desconsiderada dos cálculos e apresentada como aspecto qualitativo
ETAPA DE PROCESSAMENTO	
Equipamentos utilizados no processamento	dado qualitativo
Tipo de energia consumida	dado qualitativo
Volume de energia consumida	Mw/h mês
Poluentes e GEEs emitidos da energia consumida	dado qualitativo

Valor monetário do volume de poluente ou GEEs resultante	Segundo valores atualizados levantados em Eshet, Ayalon e Shechter (2006)
Uso de mão de obra no processamento	S/N
Resíduo processado	dado qualitativo
Riscos à saúde do contato com o resíduo	dado qualitativo
Utilização de equipamentos de segurança	dado qualitativo
Gastos com saúde por questões ocupacionais	em R\$. Esta externalidade pode ser desconsiderada dos cálculos e apresentada como aspecto qualitativo
Captura ou prevenção de emissão de poluentes e GEEs	dado qualitativo
Tipo de poluente, gás ou elemento capturado	dado qualitativo
Volume capturado ou prevenido	metros cúbicos
Valor monetário do volume capturado ou produzido	Segundo valores atualizados levantados em Eshet, Ayalon e Shechter (2006)

APÊNDICE E: Planilha de variáveis para o bagaço.

VARIÁVEL	VALOR PROVÁVEL	MÍNIMO	MÁXIMO	UNIDADE	CÓDIGO	COMENTÁRIO
Fator de correção anual	0,079	0,065	0,110	% a.a.	V1	Segundo Selic em 10/06/2013 (IPEADATA, 2013)
Tempo vida útil das máquinas e equipamentos briquetagem	10,000	7,000	15,000	anos	V3	Dado do consultor.
Bagaço produzido	855.125,87	400.000,00	1.000.000,00	t/ano	V4	Dado da usina.
Preço venda bagaço	45,000	20,000	60,000	R\$/t	V6	Dado da usina.
Investimento de aquisição de máquinas e equipamentos peletização	2.000.000,00	1.500.000,00	2.500.000,00	R\$	V12	Dado da usina. Adaptado também de estudos de Hoffelder (2011).
Custo de MO para instalação/treinamento/partid a peletização	450.000,000	350.000,000	550.000,000	R\$	V13	Dado do consultor.
Investimentos com infraestrutura peletização	400.000,000	280.000,000	600.000,000	R\$	V14	Dado do consultor.
Custo com transporte do <i>pellet</i> até o varejo	0,000	0,000	40,000	R\$/t	V15	Dado do consultor.
Custo transporte bagaço até fábrica	9,375	7,000	30,000	R\$/t	V16	Considera-se que o comprador arca com os custos, ou o mesmo é embutido no preço, segundo consultor.
Energia consumida na unidade com peletização	30,000	18,000	40,000	R\$/t	V19	Dado da usina. O valor refere-se ao custo com máquinas que entregam o bagaço do pátio aos caminhões, e apenas para o bagaço vendido.
Taxa conversão bagaço/ <i>pellet</i>	0,500	0,300	0,800	t bagaço/ t <i>pellet</i>	V21	Dado do consultor.
Preço estimado venda <i>pellet</i>	450,000	350,000	600,000	R\$/t	V22	Dado do consultor.
Encargos com venda de bagaço	0,301	0,121	0,400	%	V23	Dado do consultor.
Encargos com venda de <i>pellet</i>	0,301	0,121	0,400	%	V24	Dado da usina.
Quantidade de <i>pellet</i> produzido	12.000,000	8.000,000	12.500,000	t/ano	V25	Dado da usina.

APÊNDICE F: Planilha de variáveis para a vinhaça.

VARIÁVEIS	VALOR PROVÁVEL	MÍNIMO	MÁXIMO	UNIDADE	CÓDIGO	COMENTÁRIO
Produção diária de vinhaça	5.036,37	3.500,00	7.500,00	m3/dia	V1	dado da usina
DQO médio da vinhaça	30,92	29,00	34,00	kgDQO/m3	V2	dado da usina
DQO disponível ao dia	155.724,65	101.500,00	255.000,00	kgDQO/dia	V3	cálculo: V2 x V1
DQO média removida no biodigestor	25,00	23,00	29,00	kgDQO/dia/m3	V4	capacidade máxima do reator considerado Lamo (2012), para reator IC
DQO removida total	125.909,33	80.500,00	217.500,00	kgDQO/dia	V5	cálculo. V4 x V1
Conversão de DQO em biogás	0,45	0,38	0,48	Nm3 de biogás/kgDQO	V6	Segundo Salomon, Lora e Monroy (2007)
Produção média diária do biogás	56.659,20	30.590,00	104.400,00	Nm3biogás/dia	V7	cálculo. V6 x V5
PCI do biogás	23.027,00	20.000,00	24.500,00	KJ/m3	V8	Segundo Castanon ¹¹ (2002, SALOMON, 2007)
Potência instalada total	15,10	7,08	29,60	MW ao dia	V9	cálculo. V8 x V7 / (24x60x60x1000) - 24h, 60min, 60s, 1000KW
Eficiência do motor de combustão interna (MCI)	0,29	0,27	0,30	energia convertida	V10	Segundo Salomon, 2007.
Potência disponível depois do MCI	4,38	1,91	8,88	MW diários	V11	cálculo. V10xV9
Tempo de vida útil médio das máquinas e equipamentos	10,00	7,00	15,00	anos	V12	Consulta a empresa instaladora de biodigestor, anônima.
Fator de correção anual	0,079	0,040	0,100	taxa a.a.	V13	Segundo Selic em 10/06/2013 (IPEADATA, 2013)
Dias de moagem - média	252,00	220,00	270,00	dias	V14	dado da usina

¹¹ CASTANON, N. J. B. Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais, Trabalho apresentado na disciplina: Biomassa como Fonte de Energia - Conversão e utilização, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002.

Energia média entregue anualmente à Rede	26.490,24	10.084,80	57.542,40	MWh total ao ano	V15	cálculo: V14x24(horas)xV11
Custos médios de O&M do biodigestor	191.163,18	150.000,00	210.000,00	R\$/ano	V16	Adaptado e atualizado de Brasmetano ¹² , (2007 apud SALOMON, 2007).
Investimento médio máquinas e equipamentos para biodigestão	6.276.245,55	5.500.000,00	7.000.000,00	R\$	V17	Adaptado e atualizado de Brasmetano, (2007 apud SALOMON, 2007).
Custo médio com mão de obra instalação/treinamento/partida	1.306.041,82	800.000,00	1.600.000,00	R\$	V18	Adaptado de Brasmetano, (2007 apud SALOMON), 2007.
Preço médio de venda da energia	145,37	120,00	170,00	R\$/MWh	V19	Baseado em caso semelhante disponível no 2º leilão de Energia de Fontes Alternativas (IAB, 2010).
Encargos sobre venda de biometano ou energia	0,301	0,141	0,350	valor/receita	V20	Dado da usina: 18% ICMS, 9,25% PIS/COFINS, 2,85% INSS.
Preço médio de venda do biometano ao mercado	0,45	0,28	0,75	R\$/Nm3	V21	Consulta a empresa consumidora de gás, anônima.
Investimento médio adequação da planta para fornecimento de energia	1.934.876,91	1.200.000,00	2.500.000,00	R\$	V22	Adaptado e atualizado de Salomon, 2007.
Investimento médio adequação para limpeza do biogás	9.374,83	6.000,00	20.000,00	R\$	V23	Adaptado e atualizado de Salomon, 2007.
Proporção entre biometano final e biogás inicial	0,6266	0,5500	0,6500	Nm3 biometano/Nm3 biogás	V24	Adaptado de Wellinger e Lindeberg ¹³ (1999, apud Salomon, 2007), considerando proporção no biogás inicial de 60% - biometano e 40% CO2.
Preço de venda do bagaço	45,00	20,00	60,00	R\$/t bagaço	V25	dado da usina
Proporção entre PCI do	0,00339	0,00200	0,00700	PCI biometano	V26	Segundo dados de Brito (2011) PCI do

¹² BRASMETANO – Comunicação Pessoal, 2007.

¹³ WELLINGER A, LINDEBERG A. Biogás upgrading and utilization. Task 24: energy from biological conversion of organic wastes, pp. 1–19. 1999.

biometano e bagaço na caldeira				(MWh/Nm3)/ PCI bagaço(MWh/t)		metano / (SALOMON, 2007), PCI do bagaço.
Investimento médio adequação da planta para uso do biogás na caldeira	2.924,81	2.500,00	8.000,00	R\$	V27	Adaptado e atualizado de Salomon, 2007.
Potência retida funcionamento do sistema de geração	0,5036	0,3000	0,8000	MW	V28	Adaptado de Brasmetano ¹⁴ (2005, apud Lamonica, 2006)
Receita venda de CEE por MWh de energia vendida	21,60	18,00	24,00	R\$/MWh	V30	Cálculo adaptado de Salomon, 2007.
Custo manutenção sistemas de limpeza do biogás	31.326,77	25.000,00	35.000,00	R\$/ano	V31	Adaptado de Salomon, 2007.
Custo O&M sistema de geração de eletricidade com MCI	226.848,75	190.000,00	260.000,00	R\$/ano	V32	Adaptado de Salomon, 2007.

¹⁴ Brasmetano Indústria e Comércio Ltda, **proposta nº 0057-01-04 de 17/11/2004**, atualizada em abril de 2005.

APÊNDICE G: Planilha de variáveis para o palhão.

VARIÁVEIS	VALOR PROVÁVEL	MÍNIMO	MÁXIMO	UNIDADE	CÓDIGO	COMENTÁRIO
Perda na produção de etanol hidratado decorrente da presença do palhão no processo industrial	23,5641	17	28	l/t	V1	Adaptado de Souza (2012). Os valores mínimo e máximo representam apenas uma faixa razoável a partir do dado adaptado.
Palhão recebido com colheita integral	199.715,78	97.500,00	350.000,00	t/ano	V2	dado da usina adaptado
Palhão presente atualmente (como impureza vegetal)	126.766,96	58.500,00	227.500,00	t/ano	V3	dado da usina adaptado. Abrange todas as impurezas vegetais.
PCI do palhão	4,67	3,5	4,9	MWh/t	V4	Adaptado de Ripoli e Gameiro (2007).
Potência total fornecida pelo palhão atual	11,43	6,88	14,18	MW/dia	V5	cálculo. $V4 \times V3 / (24 \times 60 \times 60)$
Potência total fornecida pelo palhão com colheita integral	18	11,34	25,52	MW/dia	V6	cálculo. $V4 \times V2 / (24 \times 60 \times 60)$
Eficiência da turbina de conversão de energia na cogeração atual	0,32	0,3	0,33	energia convertida	V7	Adaptado de Salomon (2007).
Tempo de vida útil máximo dos equipamentos	10,00	7,00	15,00	anos	V8	Adaptado das informações dos consultores.
Retorno esperado anual	0,079	0,040	0,100	taxa a.a.	V9	Usina usa a Selic. Em 10/06/2013 segundo IPEADATA (2013) http://www.ipeadata.gov.br/
Dias de moagem	252,00	220,00	270,00	dias	V10	dado da usina
Preço de venda da energia	145,37	120,00	170,00	R\$/MWh	V12	Baseado em caso semelhante disponível no 2º leilão de Energia de Fontes Alternativas MME (2013: http://www.mme.gov.br/programas/leiloes/galerias/arquivos/leiloes_fontes_alternativas/2x_LFA.pdf)
Investimento industrial total do sistema de limpeza sem picadores.	15.000.000,00	12.000.000,00	18.000.000,00	R\$	V13	Dado fornecido por consultor atuante no mercado de soluções para palhão.

Investimento industrial dos picadores.	1.500.000,00	1.000.000,00	2.000.000,00	R\$	V14	Dado fornecido por consultor atuante no mercado de soluções para palhiço.
Custos de O&M agrícola + industrial do sistema de limpeza do palhiço	4.677.303,00	4.000.000,00	7.500.000,00	R\$/ano	V17	Adaptado e atualizado de informações dos consultores e de Souza (2012).
Proporção entre pci médio do palhiço e do bagaço na caldeira	2,1	1,81	2,8	PCI palhiço/ PCI bagaço	V23	Adaptado de Linero ¹⁵ (2012, apud DEFILIPPI FILHO, 2013)
Preço de venda do bagaço	45,00	20,00	60,00	R\$/t	V24	dado da usina
Preço de venda do álcool	1,0893	0,78	1,8	R\$/l	V26	Segundo informação de CEPEA/ESALQ (CEPEA, 2013), de 02/08.
Potência do palhiço disponível depois de conversão em energia elétrica para cenário atual	3,66	2,064	4,6794	MW/dia	V27	cálculo. V7xV5
Potência do palhiço disponível depois de conversão em energia elétrica, com colheita integral	5,76	3,402	8,4216	MW/dia	V28	cálculo. V7xV6
Energia média entregue anualmente à Rede, para cenário atual	22.121,16	10.897,92	30.322,51	MWh/ano	V29	V10xV27x24 (horas por dia)
Energia média entregue anualmente à Rede, para palhiço de colheita integral	34.836,48	17.962,56	54.571,97	MWh/ano	V30	V10xV28x24 (horas por dia)
Massa cana recebida por ano (média)	3.505.350,97	2.100.000,00	6.000.000,00	t/ano	V31	dado da usina
Investimento médio adequação da planta para fornecimento de energia	1.934.876,91	1.200.000,00	2.500.000,00	R\$	V32	Utiliza-se os mesmos valores de Salomon (2007) para a vinhaça, pois trata-se de adequação para mesmo propósito.
Porcentagem de palhiço atualmente presente na biomassa de entrada	6,03	4,5	6,5	%	V34	dado da usina

¹⁵ LINERO, Francisco A.B. **Biomassa adicional para aumento da geração de eletricidade**. Em: Curso de Caldeiras, Vapor e Geração de Energias Renováveis, Centro de Tecnologia Canavieira, CTC. Ribeirão Preto, SP, 2012.

Porcentagem de palhico na biomassa de entrada com recolhimento de 50%	9,5	7,5	10	%	V35	parâmetro estabelecido para cenário com maior recebimento do palhico. Valor adaptado de Souza (2012) e de informação de consultor técnico.
Porcentagem de palhico mantido como cobertura vegetal do solo	50	30	60	%	V36	Adaptado de Souza (2012) e de informações de consultor técnico.
Porcentagem do palhico colhido separado pelo sistema de limpeza	50	40	70	%	V37	Adaptado de Souza (2012) e de informações de consultor técnico.
Encargos sobre venda de bagaco, álcool ou energia	30,10	14,10	35,00	%	V38	dado da usina