

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GIOVANNA LUNKMOSS DE CHRISTO

**BIOMASSA DE RESÍDUOS DE HORTIFRUTICULTURA EM COLOMBO-PR E
PROSPECÇÃO PRELIMINAR PARA GERAÇÃO DE BIOGÁS**

CURITIBA

2016

GIOVANNA LUNKMOSS DE CHRISTO

**BIOMASSA DE RESÍDUOS DE HORTIFRUTICULTURA EM COLOMBO-PR E
PROSPECÇÃO PRELIMINAR PARA GERAÇÃO DE BIOGÁS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação Interinstitucional em Bioenergia com sede na Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Bioenergia.

Orientador:

Dr. Carlos Roberto Sanquetta

Co-orientadores:

Dr. Graciela Ines Bolzon de Muniz

Dr. Eduardo Bittencourt Sydney

CURITIBA

2016



Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em
BIOENERGIA



PARECER

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em BIOENERGIA, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, após arguir a mestranda **Giovanna Lunkmoss de Christo** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**BIOMASSA DE RESÍDUOS DE HORTIFRUTICULTURA EM COLOMBO-PR E PROSPECÇÃO PRELIMINAR PARA GERAÇÃO DE BIOGÁS**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do acadêmico, habilitando-o ao título de *Mestre* em BIOENERGIA, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Prof. Dra. Greyce Charlyne Benedet Maas
Universidade Federal do Paraná – Curitiba (convidada)
Primeiro examinador

Prof. Dra. Ana Paula Dalla Corte
Universidade Federal do Paraná - Curitiba
Segundo examinador

Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta
Universidade Federal do Paraná - Curitiba
Orientador e presidente da banca examinadora

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Dr. Carlos Roberto Sanquetta da UFPR pela oportunidade do mestrado e confiança depositada em mim e no meu trabalho.

Aos meus co-orientadores Dra. Graciela Muniz da UFPR e Dr. Eduardo Bittencourt Sydney da UTFPR pela orientação, amizade, incentivo, respeito, dedicação, colaboração e acompanhamento de todo o trabalho.

Ao Coordenador do programa de mestrado em Bioenergia, Dr. Helton José Alves pelo carinho e apoio dedicados ao programa e a nós alunos.

Ao Professor Carlos Alberto Bittencourt por sua contribuição na validação dos dados e pesquisas levantadas.

Aos Secretários de Planejamento e Agricultura do município de Colombo Sr. Cezar Antônio Bittencourt Junior e Sr. Marcio Roberto Toniolo, por terem me autorizado e auxiliado na coleta de dados do município de Colombo.

As colegas Flavia Rodrigues e Camila Zappellini por disponibilizar seu tempo me ajudando nas coletas de dados com os agricultores do município.

À minha família que sempre me compreendeu e apoiou em todas as decisões e caminhos de minha vida.

RESUMO

Na cadeia produtiva do alimento pode ocorrer a geração de resíduos e perdas pós-colheita, que se destinados de forma indevida podem impactar significativamente os recursos utilizados em sua produção e o meio ambiente em geral. O emprego de novas tecnologias para o aproveitamento destes alimentos proporcionam diferentes ganhos, do ponto de vista econômico, social e ambiental. Uma das maneiras de se aproveitar estes resíduos é pela sua utilização para geração de biogás e energia. O presente trabalho objetivou analisar o potencial de aproveitamento dos resíduos de hortifruticultura no município de Colombo, e prospectar sua utilização para geração de biogás. Para tanto, foram realizadas entrevistas com 51 agricultores do município de Colombo, divididos em minifúndio, pequenos e médios agricultores. Com os resultados da amostra, identificaram-se os possíveis cenários do uso destes resíduos para a produção de biogás e energia. No total, foi estimado que o município gera cerca de 43 Mg.dia^{-1} de resíduos de processamento e produção de novos produtos e perda pós-colheita, com um potencial de gerar 3.200 m^3 de biogás por dia. Para o aproveitamento deste biogás, dois cenários foram identificados: 1) implantação de biodigestores nas propriedades, com a utilização do gás para cocção ou como combustível veicular; 2) condomínio de agroenergia, com a implantação de biodigestores nas propriedades, incluindo captação e transporte do gás por gasodutos rurais, podendo ser utilizado como energia térmica ou elétrica. Em termos energéticos, o biogás gerado poderia representar um potencial instalado de até 271 kW.dia^{-1} . Concluiu-se que apesar do Cenário 2 possuir um investimento inicial mais elevado, comparado ao Cenário 1, este tem o potencial de trazer inúmeros benefícios ao município e agricultores envolvidos, como: a economia com substituição de fertilizantes químicos por biofertilizantes, redução no consumo de energia elétrica da rede, possibilidade de venda de crédito de carbono, geração de créditos com o excedente de energia, além de outros benefícios qualitativos, relacionados aos aspectos sociais e ambientais.

Palavras-chave: Resíduos de frutas e vegetais. Agricultura sustentável. Resíduos alimentícios.

ABSTRACT

The food supply chain may involve the generation of waste and postharvest loss, which if not properly destined and treated, can significantly impact the resources used in its production as well as the environment in general. The use of new technologies for the exploitation of this type of food waste provides different gains, in terms of economic, social and environmental perspectives. One of the most effective ways to manage this waste is by its use for generation of biogas and energy. This study aims at analyzing the exploitation potential of the vegetable and fruit waste in the municipality of Colombo, exploring its potential to generate biogas. For this purpose, interviews were conducted with 51 farmers in the city of Colombo, divided into smallholdings, small and medium farmers. With the sample results, were identified possible scenarios for the use of this waste to produce biogas and energy. In total, it was estimated that the city generates about 43 Mg.dia⁻¹ of vegetable and fruits waste from the processing of new products and postharvest loss, with a potential to generate 3,200 m³ of biogas per day. For the use of the biogas, two scenarios were identified: 1) deployment of digesters with the use of gas for cooking or as a fuel; 2) agro-energy complex with the deployment of small biogas plants, including capture and transport of the gas by rural pipelines, where it can be used as heat or electricity. In terms of, this biogas could represent an installed capacity of up to 271 kW.dia⁻¹. Despite the Scenario 2 has a higher initial investment, compared to Scenario 1, this has the potential to bring numerous benefits to the municipality and farmers involved, as the economy with replacement of chemical fertilizers by biofertilizers, reduction in electricity consumption, possibility of sale of carbon credit, generating credits with surplus energy, and other qualitative benefits, related to social and environmental aspects.

Key words: Vegetable and fruit waste. Sustainable agriculture. Food waste.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - PERDA E DESPERDÍCIO DE ALIMENTO DENTRO DA CADEIA DE PRODUÇÃO ALIMENTAR	18
FIGURA 2 - CAUSAS DA PERDA E DESPERDÍCIO DE COMIDA E GERAÇÃO DE RESÍDUOS; POSSÍVEIS INTERVENÇÕES QUE PODEM SER TOMADAS PELA CADEIA DE ATORES DENTRO DA CADEIA DE VALOR ALIMENTAR	21
FIGURA 3 - HIERARQUIA DE REAPROVEITAMENTO ALIMENTAR.....	22
FIGURA 4 - ESQUEMA GERAL DE UMA UNIDADE DE BIOGÁS COMUM COM REATOR DE TANQUE CONTÍNUO	35
FIGURA 5 - FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA UTILIZADA PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	40
FIGURA 6 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE COLOMBO	41
FIGURA 7 – FLUXOGRAMA COM A ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) DA PRODUÇÃO DE HORTIFRUTICULTURA.	45
FIGURA 8– LOCALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS NO MUNICÍPIO DE COLOMBO	66

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - VOLUME PRODUZIDO DE CADA GRUPO DE ALIMENTOS, POR REGIÃO (MILHÕES DE TONELADAS).....	19
GRÁFICO 2 – PERDAS ALIMENTARES – FRUTAS E VERDURAS.....	20
GRÁFICO 3 - HISTÓRICO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO PERÍODO DE 2000 A 2013.....	44
GRÁFICO 4 - LOCAL DE VENDA DOS PRODUTOS, DE ACORDO COM AS ENTREVISTAS REALIZADAS	55
GRÁFICO 5 – DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS DE PROCESSAMENTO E PRODUÇÃO DE NOVOS PRODUTOS E PERDAS PÓS-COLHEITA DE HORTIFRUTICULTURA.....	56

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS.....	27
TABELA 2 - PRODUÇÃO E RENDIMENTO DE METANO A PARTIR DE ADUBOS ORGÂNICOS DE ORIGEM ANIMAL.....	31
TABELA 3 - PRODUÇÃO E RENDIMENTO DE BIOGÁS À PARTIR DE SUBSTRATOS VEGETAIS	32
TABELA 4 - NÚMERO DE ESTABELECEMENTOS E EMPREGOS SEGUNDO ATIVIDADES ECONÔMICAS - 2013	41
TABELA 5 - NÚMERO DE PESSOAS SEGUNDO ATIVIDADE ECONÔMICA - 2010	42
TABELA 6 - ESTABELECEMENTOS AGROPECUÁRIOS E ÁREA SEGUNDO AS ATIVIDADES ECONÔMICAS- 2006.....	43
TABELA 7 - ÁREA COLHIDA, PRODUÇÃO, RENDIMENTO MÉDIO E VALOR DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA POR TIPO DE CULTURA - 2013	43
TABELA 8 - PROPRIEDADES DOS SUBSTRATOS DE RESÍDUOS DE FRUTAS E VEGETAIS.....	48
TABELA 9 - RESULTADO GERAL DOS RESÍDUOS DE PROCESSAMENTO E PRODUÇÃO DE NOVOS PRODUTOS E PERDAS PÓS-COLHEITA GERADOS	53
TABELA 10 - MONTANTE TOTAL DE RESÍDUOS DE PROCESSAMENTO E PRODUÇÃO DE NOVOS PRODUTOS E PERDAS PÓS-COLHEITA A PARTIR DA AMOSTRA REALIZADA.....	54
TABELA 11 - ESTIMATIVA DE MÉDIA/GRANDE PROPRIEDADES E MINIFÚNDIOS A PARTIR DA AMOSTRA REALIZADA.....	57
TABELA 12 - MONTANTE TOTAL DE RESÍDUOS DE PROCESSAMENTO E PRODUÇÃO DE NOVOS PRODUTOS E PERDAS PÓS-COLHEITA A PARTIR DA ESTIMATIVA DOS AGRICULTORES	58
TABELA 13 - POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA A PARTIR DA ESTIMATIVA DOS RESÍDUOS DE HORTIFRUTICULTURA GERADOS PELOS 505 AGRICULTORES DE COLOMBO	63
TABELA 14 – ESTIMATIVA DO INVESTIMENTO NECESSÁRIO PARA OS CENÁRIOS 1 E 2	71
TABELA 15 - RESUMO DOS PARÂMETROS AVALIADOS.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

CH₄ - Metano

CO - Monóxido de carbono

CO₂ - Dióxido de carbono

COV - Carga orgânica volumétrica

CQNUMC - Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

FAO - *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação)

GEE - Gases de Efeito Estufa

GLP - Gás Liquefeito de Petróleo

H₂ - Hidrogênio

H₂O - Vapor d'água

H₂S - Sulfeto de Hidrogênio

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEA - *International Energy Agency* (Agência Internacional de Energia)

MCT - Ministério de Ciência e Tecnologia

MCT - Microcentral Termoelétrica

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

DS - Ministério de Desenvolvimento Social e Combate à Fome

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MS - Percentual de massa seca da biomassa

MW - Megawatt

N₂ - Nitrogênio

O₂ - Oxigênio

OECD - *The Organization for Economic Cooperation and Development*
(Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico)

PIB - Produto Interno Bruto

RSU - Resíduos sólidos urbanos

SINAC - Sistema Nacional de Centrais de Abastecimento

TRH - Tempo de retenção hidráulica

V_m - Volume de água para a mistura

V_R - Volume do reator

RMC - Região Metropolitana de Curitiba

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	5
LISTA DE GRÁFICOS	5
LISTA DE TABELAS	6
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO TEÓRICO-EMPÍRICA.....	15
2.1 RESÍDUOS AGRÍCOLAS.....	15
2.2 PERDAS E DESPERDÍCIOS DE ALIMENTO.....	16
2.2.1 Definição de perda e desperdício de alimento.....	17
2.2.2 Causas da perda e desperdício de alimento	20
2.3 POSSÍVEIS APROVEITAMENTOS DOS RESÍDUOS E PERDAS DE PÓS-COLHEITA	22
2.4 BIOENERGIA.....	25
2.4.1 Biomassa.....	25
2.4.2 O Biogás	27
2.4.3 Biodigestores	29
2.4.4 Sistema Operacional	30
2.4.5 Diferentes substratos para produção de biogás	30
2.4.6 Diferentes escalas	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
3.1 LOCAL	40
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE HORTIFRUTICULTURA .	44
3.3 ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS.....	47
3.4 POSSÍVEIS USOS DO BIOGÁS GERADO	48
3.5 DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE HORTIFRUTICULTURA GERADOS	52
4.1.1 Resultados da amostra.....	52
4.1.2 Resultados da estimativa.....	57
4.2 POSSÍVEIS USOS DOS RESÍDUOS DE HORTIFRUTICULTURA	59

4.3	POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA A PARTIR DOS RESÍDUOS DE HORTIFRUTICULTURA	62
4.2.1	Aproveitamento do biogás gerado	64
4.2.2	Conversão energética e aplicações	66
4.2.3	Possível investimento necessário	70
4.2.4	Dimensionamento do biodigestor	72
4.2.5	Aproveitamento integrado de alimento e energia	74
4.2.6	Oportunidades de redução de emissão de gases de efeito estufa	74
5	CONCLUSÕES	77
6	RECOMENDAÇÕES	79
	REFERÊNCIAS.....	80
	APÊNDICES	87

1. INTRODUÇÃO

A atividade agropecuária apresenta um intenso dinamismo na economia brasileira, sendo a base de sustentação econômica do país e trazendo muitos benefícios, como a geração de empregos, maior contribuição ao desenvolvimento, mais alimentos e riqueza (IPEA, 2012, p. 12). Representando 21,4% do Produto Interno Bruto (PIB) Nacional, os dados demonstram que a agropecuária trouxe muitos benefícios no decorrer da história do país (CEPEA, 2015). Entretanto, é também um setor que traz impactos negativos ao meio ambiente, como a geração de resíduos (se não forem devidamente tratados) e emissões de GEE (gases de efeito estufa) para a atmosfera (IPEA, 2012), por exemplo. Em 2012, a agropecuária foi responsável por 37% das emissões de CO₂eq no Brasil (MCTI, 2014).

Dentro da cadeia produtiva do alimento, dependendo da escolha da forma da produção agrícola, infraestrutura interna, canais de comercialização e distribuição, e práticas do uso alimentar, poderá haver geração de resíduos, desperdício e perdas pós-colheita, impactando significativamente os recursos utilizados na produção, como terra, água, energia e insumos (FAO, 2011). Segundo FAO (2013), globalmente, cerca de 1,7 bilhão de toneladas de alimentos são perdidos durante a produção, ou seja, um terço do que é produzido é perdido, o que demonstra um elevado nível de insegurança alimentar mundial.

No Brasil, as perdas correspondem a 30% dos alimentos na fase de pós-colheita, no caso dos frutos, e 35%, no das hortaliças (FAO, 2013). Produzir alimentos que não serão consumidos leva a emissões desnecessárias, além da perda de valor econômico dos alimentos produzidos. Além disso, menos de 2% dos resíduos são reciclados em todo o Brasil, e cerca de 40 mil toneladas de alimentos são desperdiçados por dia (ABRELPE, 2012), gerando grandes impactos ambientais e contribuindo para o aumento de emissões de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera.

Enfoques ecossistêmicos que combinam tanto a produção de alimentos e energia, como sistemas agroflorestais ou sistemas de integração lavoura-pecuária-biogás integrados, poderiam mitigar substancialmente os riscos ao fornecer alimentos e energia para as populações rurais e urbanas (FAO, 2012). O Brasil, como grande produtor agrícola, gera expressiva biomassa nos processos resultantes da colheita e processamento de produtos agropecuários, tais como, hortaliças,

milho, arroz, algodão, madeira, carnes, e também no lixo urbano. Mundialmente, de acordo com um estudo da FAO (2013), 54% do desperdício de alimentos no mundo ocorre na fase inicial da produção, manipulação pós-colheita e armazenagem. Os restantes 46% ocorrem nas etapas de processamento, distribuição e consumo.

Além disso, com o crescimento populacional nos últimos anos, haverá uma demanda energética ainda maior, necessitando novas soluções que supram esta demanda por energia. Desta maneira, a possibilidade de criação de fontes de suprimento descentralizadas e em pequena escala é fundamental para o desenvolvimento sustentável local, tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento (IEA, 2014).

O reaproveitamento da biomassa remanescente da agricultura e agroindústria, além de evitar a acumulação de resíduos, é também fundamental para reduzir a dependência de fertilizantes químicos importados e viabilizar a sustentabilidade do crescimento da produção agrícola (IPEA, 2012). As tecnologias a base de fontes renováveis são altamente eficientes, não só devido às vantagens ambientais, mas também sociais, pois além de produzirem menos GEE para a atmosfera e terem uma menor geração de resíduos, trazem ganhos socioeconômicos para a comunidade envolvida, com o acesso a energia em comunidades isoladas, geração de empregos e incentivo a economia local, além dos benefícios econômicos para aqueles que produzem sua própria energia (IRENA, 2014).

O potencial global de biogás é grande o suficiente para fornecer uma parte substancial da demanda futura de gás natural (WBA, 2013). As estimativas mostram que o biogás pode cobrir cerca de 6% da oferta global de energia primária, ou um quarto do consumo atual de gás natural (WBA, 2013). Além disso, a nível nacional, há um potencial de geração de biogás em cerca de 12 bilhões de m³ por ano no setor sucroalcooleiro e 8 bilhões de metros cúbicos por ano no setor da agroindústria de alimentos (BLEY, 2015), necessitando assim uma maior eficiência energética para sua sustentabilidade e econômica e ambiental.

No Brasil, o estado do Paraná vem se destacando na implantação de projetos descentralizados de energia, com a utilização do biogás de resíduos orgânicos em pequenas propriedades rurais, onde há incentivos de cooperativismo do biogás. Estes projetos são encontrados no Oeste do Paraná (ITAIPU, 2013), mas ainda

precisam ser mais disseminados para o resto do estado, como é o caso do município de Curitiba e região.

Segundo dados do Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER, 2016), pelo menos um terço¹ das hortaliças produzidas no estado saem do chamado “Cinturão Verde” dos arredores de Curitiba, fazendo dessa região uma das principais produtoras de hortifruticulturas do estado, sendo o município de Colombo um dos maiores produtores da região (RIOS, 2012). Desta maneira, considerando que 54% do desperdício alimentar acontece na fase inicial da produção, manipulação pós-colheita e armazenagem dos alimentos (FAO, 2013), observa-se que há um grande potencial de aproveitamento destes resíduos, mas ainda existem poucos estudos abordando esta temática.

Existem inúmeros resultados positivos da economia do biogás, que devem ser disseminados e estudados, em âmbitos energéticos, sociais econômicos e ambientais. Nesse contexto, buscou-se neste trabalho, identificar e quantificar os resíduos orgânicos e pós-colheita gerados da hortifruticultura produzida pelo município de Colombo, visando encontrar alternativas para o reaproveitamento destes resíduos e uma prospecção preliminar da geração de biogás e energia.

¹ A Região Metropolitana de Curitiba (RMC) concentra cerca de 37% do volume total de hortaliças produzidas no Paraná, o que representa 1.084.135 Mg de alimento. Este valor representa 34% do Valor Bruto da Produção correspondendo a R\$ 1,2 bilhão. O número de produtores de hortaliças da região é de aproximadamente 14.000, constituído por pequenos e médios agricultores familiares, divididos entre os 29 municípios da região (EMATER, 2016).

1.1 OBJETIVOS

- Objetivo geral:

Analisar o potencial de aproveitamento dos resíduos hortifruticultura cultura no município de Colombo, e prospectar sua utilização para geração de biogás.

- Objetivos específicos:

- Realizar um diagnóstico qualitativo e quantitativo dos resíduos gerados no setor de hortifruticultura do município;
- Analisar os principais fatores de geração de resíduos em cada etapa do processo produtivo;
- Propor ações para minimizar a geração de resíduos;
- Avaliar o potencial de geração de biogás e energia a partir da biomassa de resíduos;

2. REVISÃO TEÓRICO-EMPÍRICA

2.1 RESÍDUOS AGRÍCOLAS

A Norma Brasileira 10.004/2004 define resíduos sólidos como:

“(…) resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos que resultam da atividade da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Considera-se também, resíduo sólido os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d’água, ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível” (ABNT, 2004, p. 1).

Segundo Matos (2005) a produção de resíduos agrícolas depende das condições climáticas do local, da espécie que será cultivada, fertilidade do solo etc. Além disso, como a produção depende da fertilidade do solo, os nutrientes dos resíduos das culturas produzidas também podem variar. Segundo Pires e Mattiazzo (2008), a origem dos resíduos sólidos agrícolas pode ser classificada em:

- a) Resíduos da atividade agrícola, que são aqueles originados exclusivamente da produção agropecuária, compostos por resíduos de lavouras, como as palhas e da atividade zootécnica, como dejetos orgânicos passíveis de tratamento para posterior utilização como estercos e considerados, ambos, como portadores de baixa concentração de contaminantes;
- b) Resíduos da atividade industrial, compostos de matéria prima originada estritamente da produção agrícola e completamente isenta de outros elementos que não aqueles provenientes dos produtos de colheita ou da criação durante o processo de industrialização, como ocorre na industrialização da cana-de-açúcar;
- c) Resíduos da atividade industrial, compostos por matéria prima agrícola com adição durante o processamento industrial de outras substâncias, como ocorre na indústria alimentícia.

2.2 PERDAS E DESPERDÍCIOS DE ALIMENTO

A questão da perda e desperdício de alimento é um assunto de grande importância a nível global, tanto nos esforços para combater a fome e para melhorar a segurança alimentar de muitos países pobres do mundo, quanto para se alcançar o desenvolvimento sustentável e mitigação das mudanças climáticas (PARFITT *et al.*, 2010, p. 3065). As causas exatas de perdas de alimentos variam em todo o mundo e dependem muito das condições específicas e situação local de um determinado país. Em termos gerais, as perdas de alimentos são influenciadas pelas escolhas e padrões de produção agrícola, infraestrutura, capacidade, estratégias de comercialização, canais de distribuição e de compra, e hábitos e práticas de consumidores finais (FAO, 2011).

As perdas de alimentos representam um desperdício de recursos utilizados na produção, como terra, água, energia e insumo. Produzir alimentos que não serão consumidos leva a emissões desnecessárias de CO₂ para a atmosfera, além da perda do valor econômico da comida produzida (FAO, 2011). Desde o início da produção agrícola até o consumo final, muitos alimentos são perdidos ou desperdiçados em toda a cadeia produtiva (FAO, 2011). Esta perda e desperdício de comida se referem à colheita e produção de plantas e animais para consumo humano, mas que por diversas razões, acabam tendo outro destino (LIPINSKI *et al.*, 2013).

Segundo a FAO (2011), no geral, assumindo um parâmetro per-capita, muito mais alimentos são desperdiçados no mundo industrializado do que em países em desenvolvimento. Estima-se que o desperdício de alimento per capita de consumidores na Europa e na América do Norte seja de 95-115 kg.ano⁻¹, enquanto este número na África Subsaariana e Sul / Sudeste Asiático é de apenas 6-11 kg.ano⁻¹. Em países desenvolvidos, o desperdício de comida ocorre normalmente na fase de consumo, o que significa que ele é descartado mesmo que ainda seja adequado para consumo humano. Em países em desenvolvimento, o alimento é perdido principalmente durante os estágios iniciais e no meio da cadeia de abastecimento alimentar, com uma quantidade menor de comida sendo desperdiçada ao nível do consumidor final.

As perdas de alimentos e resíduos trazem um grande impacto negativo tanto em termos econômicos quanto ambientais. Economicamente, eles representam um

investimento desperdiçado, que pode reduzir rendimentos dos consumidores e aumentar as despesas dos agricultores. Ambientalmente, a perda de alimento e geração de resíduos provoca uma série de impactos, incluindo as emissões de gases de efeito estufa emitidos desnecessariamente, água e terra utilizadas de forma ineficiente, além do resíduo que é descartado muitas vezes de forma errada (LIPINSKI *et al.*, 2013, p. 1).

2.2.1 Definição de perda e desperdício de alimento

Perdas alimentares referem-se à diminuição da disponibilidade de alimento para consumo humano ao longo de parte da cadeia de fornecimento, que especificamente conduz o alimento para o consumo humano (PARFITT *et al.*, 2010). As perdas de alimentos ocorrem nas fases de produção, pós-colheita e processamento do alimento, onde durante seu processo na cadeia de abastecimento alimentar são derramados, estragados ou perdem sua qualidade e valor, antes que atinjam sua fase final de venda (BAGHERZADEH *et al.*, 2014, p. 6).

O desperdício ocorre no final da cadeia alimentar (consumo final), que se refere ao comportamento de consumidores e comerciantes perante o consumo ou venda dos alimentos (PARFITT *et al.*, 2010 p. 3067). Este refere-se a alimentos que completam a cadeia de abastecimento alimentar até a fase final, com boa qualidade e própria para consumo, mas que por algum motivo não são consumidos, mas sim descartados, ou acabam por estragar (BAGHERZADEH *et al.*, 2014, p. 3).

Segundo FAO (2011), existem cinco tipos de perda e desperdício de alimento, que foram identificados dentro da cadeia de abastecimento vegetal para consumo humano, como mostra a Figura 1.

Produção agrícola: perdas devido a danos mecânicos e/ou derrames durante a colheita, culturas descartadas na fase de pós-colheita, etc.

Manuseio e armazenamento pós-colheita: incluindo perdas devido ao derramamento e degradação durante o manuseio, armazenamento e transporte entre fazenda e comércio/distribuidora.

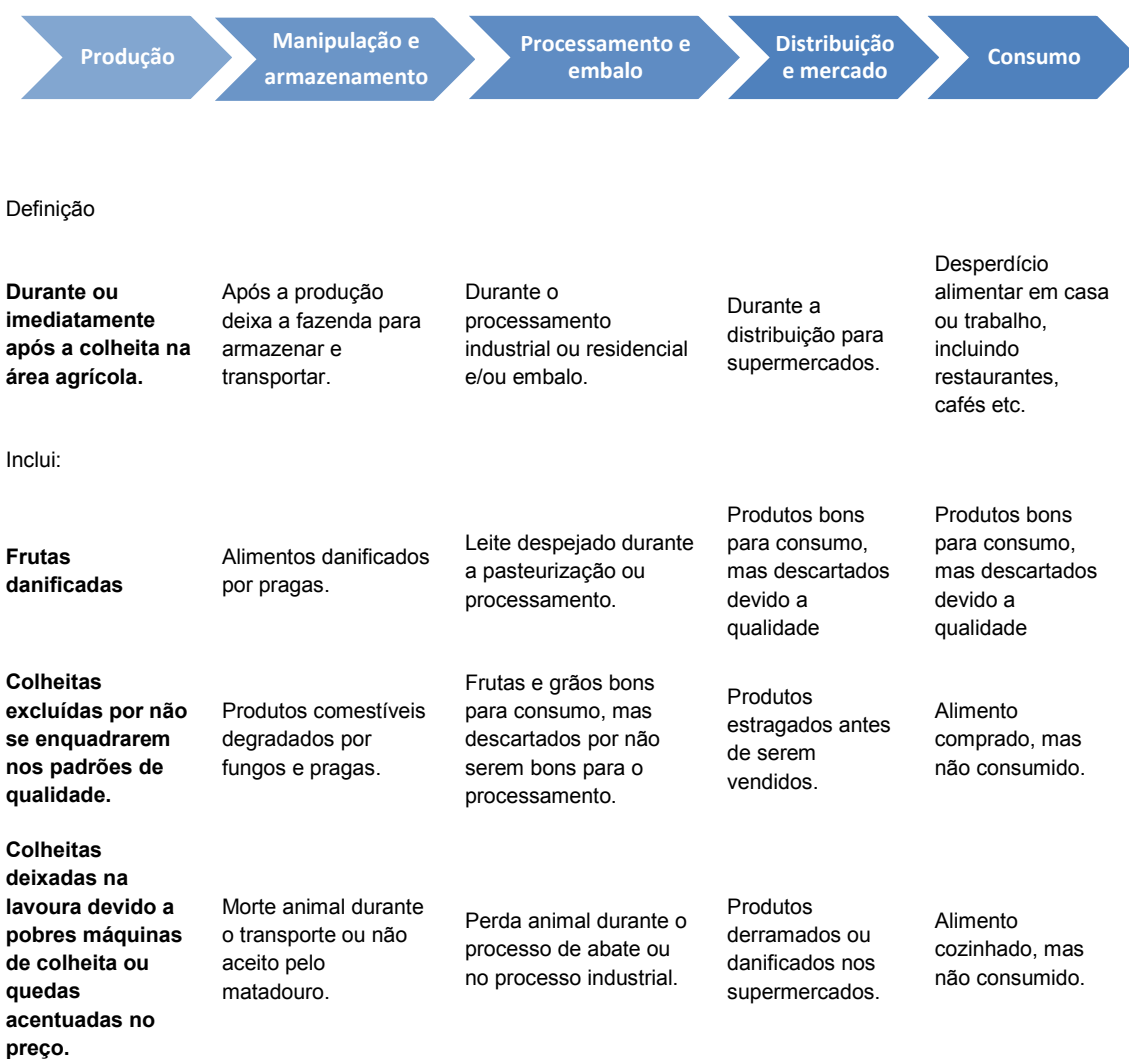
Processamento: incluindo perdas devido a derramamento e degradação durante o processamento industrial ou doméstico (por exemplo, produção de suco, conservas, pão etc.). Podem ocorrer perdas quando as culturas são descartadas, se não são

adequadas para o processo ou durante a lavagem, descascamento, corte e cozimento.

Distribuição: inclui perdas e geração de resíduos no sistema de mercado.

Consumo: inclui perdas e geração de resíduos durante o consumo final, em nível familiar.

FIGURA 1 - PERDA E DESPERDÍCIO DE ALIMENTO DENTRO DA CADEIA DE PRODUÇÃO ALIMENTAR

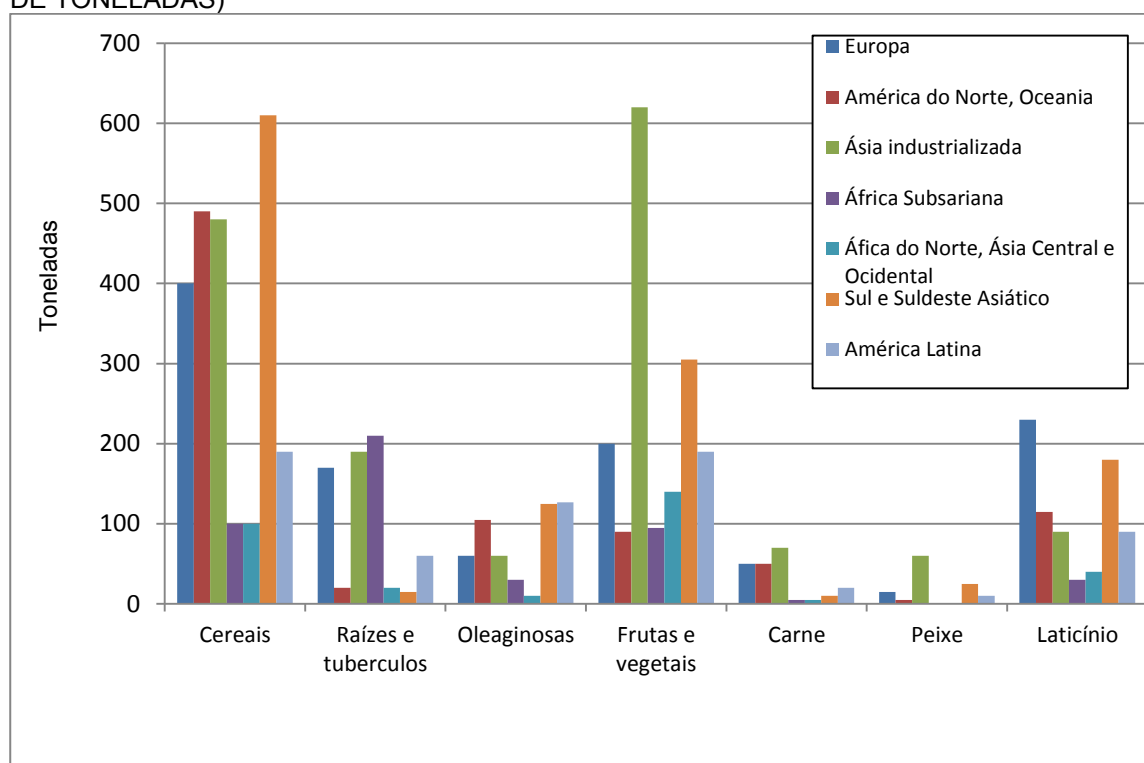


FONTE: Bagherzadeh *et al.* (2014). Traduzido e adaptado pelo autor (2015).

Cerca de um terço dos alimentos produzidos para consumo humano são perdidos ou desperdiçados mundialmente, o que equivale a cerca de 1,3 bilhões de toneladas por ano. Em países de baixa renda os alimentos são perdidos principalmente durante os estágios iniciais e no meio da cadeia de abastecimento

alimentar; e uma menor quantidade de alimento é desperdiçada ao nível do consumidor. Já em países desenvolvidos, a comida é normalmente desperdiçada, o que significa que é descartado, mesmo quando ainda está adequada para consumo humano. Como mostra o Gráfico 1, as frutas e vegetais são os alimentos mais produzidos em todo o mundo, com destaque para a região da Ásia Industrializada (BAGHERZADEH *et al.*, 2014).

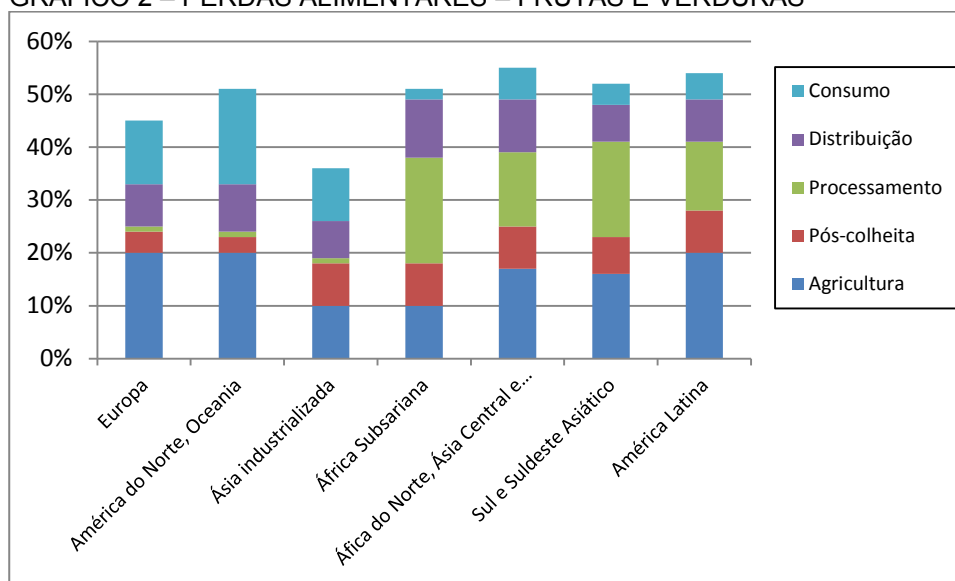
GRÁFICO 1 - VOLUME PRODUZIDO DE CADA GRUPO DE ALIMENTOS, POR REGIÃO (MILHÕES DE TONELADAS)



FONTE: Bagherzadeh *et al.* (2014). Traduzido pelo autor (2015).

Nos países em desenvolvimento mais de 40% das perdas de alimentos ocorrem em níveis pós-colheita e processamento (GRÁFICO 2), enquanto nos países industrializados, mais de 40% das perdas de alimentos ocorrem no varejo e níveis de consumo (BAGHERZADEH *et al.*, 2014). Os resíduos alimentares a nível de consumo final nos países industrializados (222 milhões toneladas) é quase tão alta como a produção líquida total de alimentos na África Subsaariana (230 milhões de toneladas) (FAO, 2011).

GRÁFICO 2 – PERDAS ALIMENTARES – FRUTAS E VERDURAS



FONTE: Bagherzadeh *et al.* (2014). Traduzido pelo autor (2015)

2.2.2 Causas da perda e desperdício de alimento

As causas da perda e desperdício de alimento em países em desenvolvimento são principalmente relacionadas com a limitação financeira e de infraestrutura de armazenamento, manipulação, resfriamento etc. (FAO, 2011). Em muitas situações, a indústria alimentar não tem capacidade de processar e preservar produtos frescos em ordem de atender a demanda. Parte do problema decorre da sazonalidade da produção e os custos do investimento em instalações de processamento que não serão utilizados durante todo o ano (FAO, 2011). Além disso, o alimento pode ser perdido devido à colheita prematura. Agricultores de baixa renda muitas vezes fazem a colheita antecipadamente, devido à falta de comida ou renda. Assim, o alimento acaba tendo uma perda de valor em termos nutricionais e econômicos, podendo ser desperdiçado se não for apropriado para o consumo (FAO, 2011).

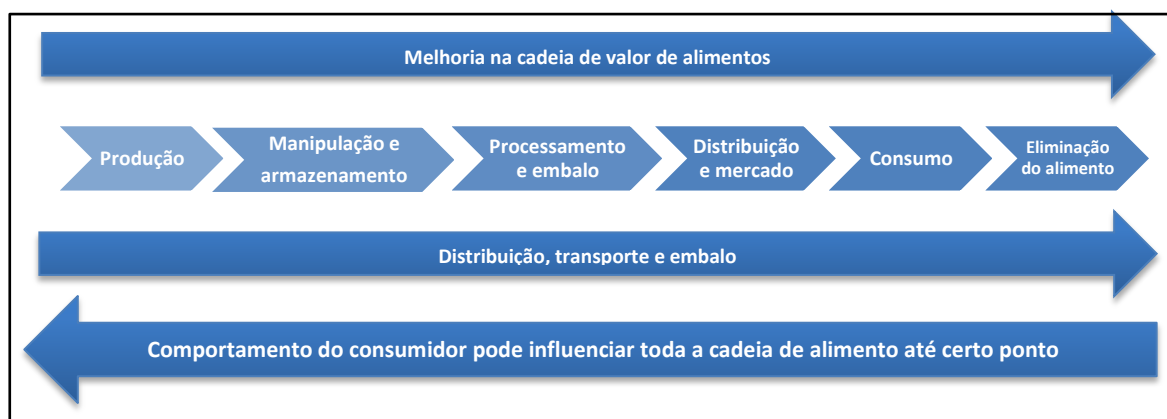
Já em países desenvolvidos, as principais causas do desperdício de alimento ao nível de consumo final, é que as pessoas simplesmente podem se dar ao luxo de desperdiçar comida (STUART, 2009). A eliminação é mais barata do que o reuso ou a reciclagem de alimento, induzindo ainda mais ao desperdício de alimento (FAO, 2011). Outro fator que influencia é quando a produção excede a

demanda. A fim de garantir a entrega de quantidades previamente solicitadas, muitas vezes os agricultores fazem o planejamento da produção do ponto de vista “seguro” e acabam produzindo maiores quantidades do que realmente necessitam. Assim, alguns alimentos são vendidos ou doados para outros fins, como alimentação animal, entretanto, isto nem sempre é financeiramente rentável, trazendo prejuízo para os agricultores (FAO, 2011).

Há também problemas relacionados com o elevado padrão de qualidade estética dos produtos frescos comercializados por supermercados, levando ao elevado desperdício de comida. Alguns produtos são rejeitados pelos supermercados devido ao rigoroso padrão de qualidade sobre o peso, tamanho, forma e aparência dos alimentos, fazendo com que grande parte da produção agrícola nunca saia das fazendas (STUART, 2009).

A Figura 2 fornece uma visão geral de uma cadeia de valor alimentar simplificada, onde são identificadas as causas de perdas de alimentos e resíduos nas várias fases, as possíveis intervenções de atores da cadeia para aumentar a eficiência, sustentabilidade e a adição de valor. Observa-se que “a distribuição, transporte e embalagem”, pode ser realizada em várias fases ao longo da cadeia, dependendo do produto. Além disso, o comportamento do consumidor pode ter influência sobre toda a cadeia, como as escolhas que eles fazem voltam para as etapas de produção (FAO, 2011).

FIGURA 2 - CAUSAS DA PERDA E DESPERDÍCIO DE COMIDA E GERAÇÃO DE RESÍDUOS; POSSÍVEIS INTERVENÇÕES QUE PODEM SER TOMADAS PELA CADEIA DE ATORES DENTRO DA CADEIA DE VALOR ALIMENTAR



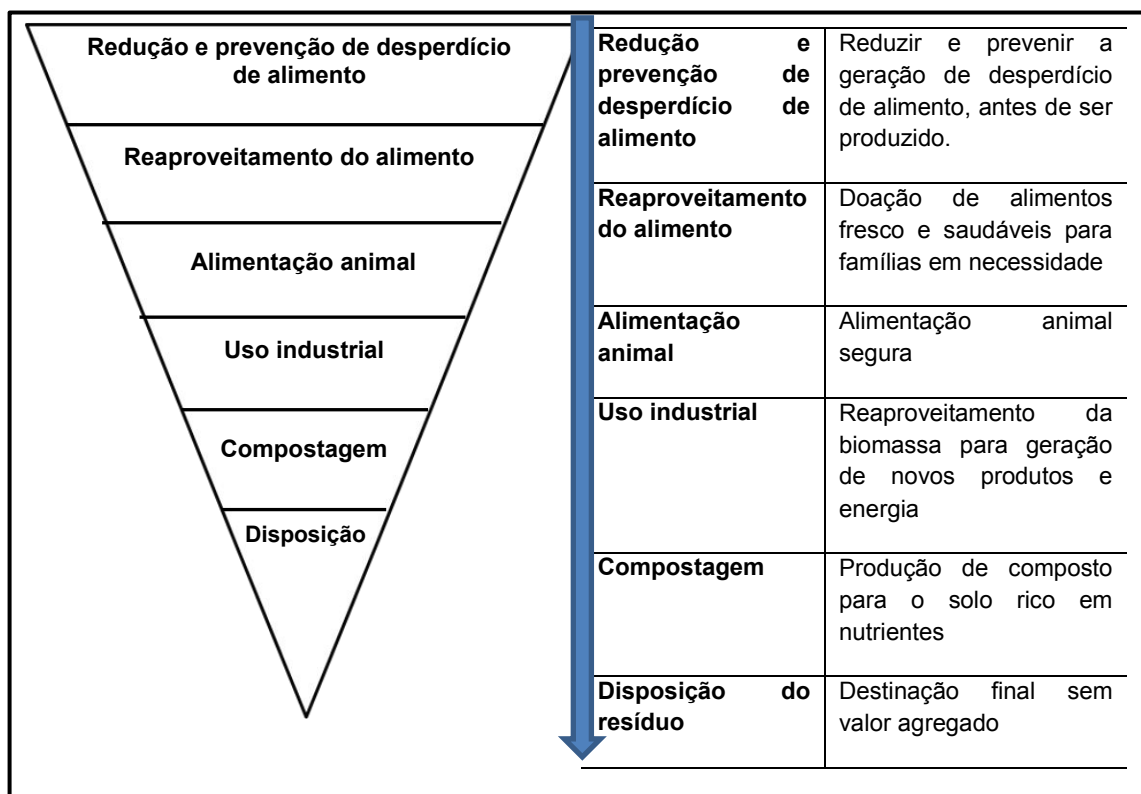
FONTE: FAO (2011). Adaptado e traduzido pelo autor.

2.3 POSSÍVEIS APROVEITAMENTOS DOS RESÍDUOS E PERDAS DE PÓS-COLHEITA

2.3.1 Hierarquia de reaproveitamento alimentar

A hierarquia de reaproveitamento alimentar contém uma classificação com diferentes opções de reaproveitamento, considerando o nível de impacto ambiental, começando pelo menor impacto no topo da pirâmide (BAGHERZADEH *et al.*, 2014). Esta hierarquia tem como principal objetivo tornar mais eficiente o sistema alimentar (WOLSINK, 2010), com ações práticas como: diminuir a geração de resíduos, reutilizar, reciclar (através de compostagem, geração de energia) e por último, dar uma destinação adequada. Conforme mostra a Figura 3, a classificação inclui: redução de recursos, doação de alimento para combater a fome, alimentação animal, uso industrial, compostagem ou geração de energia (BAGHERZADEH *et al.*, 2014).

FIGURA 3 - HIERARQUIA DE REAPROVEITAMENTO ALIMENTAR



FONTE: Bagherzadeh *et al.* (2014). Adaptado e traduzido pelo autor

2.3.2 Redução e prevenção da perda e desperdício de alimento

Soluções eficientes para reduzir os montantes totais de alimentos perdidos e desperdiçados existem ao longo de toda a cadeia alimentar. A abordagem utilizada para reduzir a perda de alimentos e resíduos está inserida no conceito mais amplo de promoção de sistemas alimentares sustentáveis, que por um lado engloba a produção sustentável de alimentos, e por outro lado o consumo consciente e sustentável (FAO, 2011).

2.3.3 Aproveitamento alimentar

Centrais de abastecimento e bancos de alimentos

As Centrais de Abastecimento são empresas estatais ou de capital misto, destinadas a promover, desenvolver, regular, dinamizar e organizar a comercialização de hortigranjeiros. São espaços econômicos e sociais diversificados que reúnem vendedores e compradores, produtores e comerciantes, consumidores e prestadores de serviço, agentes públicos e informais para atividades comerciais e em intensa relação comercial e social, realizada em curto espaço de tempo (CONAB, 2009). O Sistema Nacional de Centrais de Abastecimento (SINAC) implantou, a partir da década de 1970, as principais Centrais de Abastecimento e promoveu o estabelecimento de normas de comercialização, informações de mercado e técnicas de produção para o segmento hortigranjeiro no País (ABRACEN, 2011). Segundo CONAB (2009), a maioria das centrais de abastecimento mantém programas sociais relacionados à segurança alimentar e a outras políticas sociais, como bancos de alimentos, distribuição de gêneros alimentícios, fábricas de concentrado alimentar, assistência técnica a produtores, entre outros.

Os bancos de alimento são iniciativas de abastecimento e segurança alimentar, que consiste na arrecadação de doação de alimentos, por meio da articulação do maior número de parceiros do setor alimentício (indústrias, feiras, supermercados, centrais de abastecimento e outros) (MDS, 2007). O maior objetivo dos bancos de alimentos é combater o desperdício de alimento e minimizar a fome em comunidades carentes. Nesses bancos, os alimentos são recebidos,

selecionados, processados ou não, embalados e distribuídos gratuitamente a entidades sociais, auxiliando a complementar as refeições de famílias carentes assistidas por essas entidades. De acordo com o Ministério de Desenvolvimento Social e Combate à Fome, atualmente o Brasil conta com 51 bancos de alimento e mais 35 que estão em fase de construção, beneficiando mais de 350 mil pessoas por mês (MDS, 2007).

Aproveitamento integral do alimento

Grande parte dos alimentos que são consumidos são desperdiçados todos os dias, como talos e folhas. Estas partes não aproveitadas dos alimentos poderiam ser utilizadas para enriquecimento alimentar, diminuindo o desperdício e aumentando o valor nutricional das refeições, pois talos e folhas podem ser mais nutritivos do que a parte “nobre” do vegetal (SOUZA *et al.*, 2007). De acordo com Rocha *et al.* (2008 p. 2), cascas, talos e folhas são boas fontes de fibras e lipídios, tendo-se como exemplos as sementes de abóbora; talos de brócolis, de couve, de espinafre; cascas de banana, de laranja, de limão, de rabanete e folhas de brócolis.

2.3.4 Compostagem

Durante e após a colheita há a geração de muitos resíduos de origem vegetal como folhas, galhos, caules, inflorescências, palhas, raízes de plantas, cascas de árvores, casca de frutas, que apresentam algum dano causado por insetos ou doenças, bagaços, etc., que comumente são desprezados e descartados, mas que apresentam uma ótima matéria prima para produção de adubo orgânico. O adubo produzido com esses resíduos é rico em nutrientes e matéria orgânica que, retornados ao solo estimulam a vida da terra e contribuem em muito para o desenvolvimento e a nutrição das plantas e a manutenção da vida e da fertilidade do solo (EMBRAPA, 2009).

O uso da matéria orgânica através da compostagem na adubação de culturas é essencial para a melhoria da qualidade do solo e manutenção da fertilidade, contribuindo significativamente para a manutenção da umidade e da temperatura do solo a níveis adequados para o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea das plantas, contribuindo para a melhoria da produtividade

e para a sustentabilidade do sistema de produção. A produção da matéria orgânica pode ser feita com os resíduos disponíveis no local e de maneira contínua (EMBRAPA, 2009).

2.3.5 Geração de energia

Além das alternativas de aproveitamento alimentar descritas acima, há também a possibilidade de transformar estes resíduos orgânicos em energia. As matérias-primas podem incluir resíduos sólidos urbanos (RSU); resíduos agrícolas, tais como silagem de colheita e esterco de gado; e ainda os gases que são produzidos naturalmente dentro de aterros sanitários. Tecnologias que fazem a conversão de resíduos orgânicos em energia são ótimas alternativas para a minimização do impacto ambiental e benefício energético para a sociedade como um todo (WINKWORTH *et al.*, p.9, 2015).

2.4 BIOENERGIA

Bioenergia refere-se a produtos de biomassa que são convertidos em forma líquida, sólida ou gasosa para a geração de energia, dependendo da matéria-prima e da tecnologia utilizada. A biomassa abrange um amplo espectro de materiais de plantas e dejetos, que variam desde agricultura, silvicultura, dejetos animais, resíduos orgânicos urbanos e culturas cultivadas especificamente para produzir biocombustíveis, como o etanol e biodiesel. A biomassa é a única fonte de energia renovável que pode ser fornecida como combustível sólido, gasoso ou líquido e pode ser utilizada para a geração de eletricidade e combustíveis para transporte, bem como para geração de calor - em particular, o calor de alta temperatura para fins industriais (IEA, 2012).

2.4.1 Biomassa

Energia gerada a partir da biomassa é a maior fonte de energia renovável nos dias de hoje, fornecendo 10% da oferta de energia primária global. Esta fonte de energia desempenha um papel crucial em muitos países em desenvolvimento,

fornecendo energia básica para cozinhar e para aquecimento (IEA, 2012, p. 1). A utilização da energia advinda da biomassa tem dois aspectos de grande importância, sua renovabilidade num espaço de tempo menor que o tempo de vida médio humano e a manutenção do equilíbrio de CO₂: o que é capturado no processo de fotossíntese é liberado no processo de queima. Porém, essa biomassa utilizada de forma inadequada, pode muitas vezes causar impactos ambientais e graves danos à saúde humana (IEA, 2012).

O Brasil, como grande produtor agrícola gera expressiva biomassa nos processos resultantes da colheita e processamento de produtos agropecuários, tais como, milho, arroz, algodão, madeira, carnes, e também no lixo urbano. Somente em 2009, o país gerou mais de 291 milhões de toneladas (IPEA, 2012, p. 34), com a cana-de-açúcar gerando a maior parcela de resíduos, com um montante de 201 milhões de toneladas de resíduos (torta de filtro e bagaço). Assim, há um alto potencial para novas fontes de renda ao longo de toda a cadeia de valor com a geração de energia a partir da biomassa, desde o cultivo até a colheita, processamento e conversão em energia, podendo vir a beneficiar agricultores e proprietários florestais e apoiar o desenvolvimento rural.

A bioenergia hoje desempenha um papel fundamental no fornecimento de energia em muitos países em desenvolvimento. Dado que uma grande parte do abastecimento de bioenergia primário no mundo é consumida nesses países, e que a sua demanda de energia deverá crescer no futuro, será crucial para considerar as necessidades específicas dos países em desenvolvimento e desenvolver estruturas de políticas específicas para atingir o nível de implantação de bioenergia necessária (IEA, 2012, p. 7).

A maior parte da biomassa consumida em países não membros da OECD é muitas vezes usado para aquecimento doméstico (incluindo cozinha) em baixas eficiências. A alta dependência de biomassa como fonte primária de energia também leva a problemas ambientais, como a degradação da floresta, um problema que tende a aumentar com o crescimento da população. Melhorar a eficiência do uso atual de biomassa tradicional e implantação de combustíveis alternativos para cozinhar como o biogás e etanol será, assim, elemento crucial para um suprimento de energia mais sustentável nos países em desenvolvimento (IEA, 2012, p. 10).

2.4.2 O Biogás

A produção e captação de biogás a partir de um processo biológico foi documentada pela primeira vez no Reino Unido em 1895 (METCALF e EDDY, 1979). Desde então, o processo foi desenvolvido e amplamente aplicado para o tratamento de esgoto e de estabilização de lodo das estações de tratamento. A crise energética no início dos anos 70 trouxe uma nova consciência sobre o uso de combustíveis renováveis, incluindo biogás a partir da digestão anaeróbica. O interesse pelo biogás aumentou ainda mais nos dias de hoje, devido aos esforços globais de substituir os combustíveis fósseis utilizados para a produção de energia e a necessidade de encontrar soluções ambientalmente sustentáveis para o tratamento e reciclagem de dejetos animais e resíduos orgânicos (SEADI *et al.*, 2008).

O biogás origina-se de um processo biológico que promove a decomposição da matéria orgânica em meio anaeróbico (ausência de oxigênio), sendo comumente encontrado na natureza (FNR, 2010, p. 20). Este gás pode ser utilizado para geração de eletricidade, calor e combustível para motores a combustão. Traços de hidrogênio, nitrogênio, monóxido de carbono, e oxigênio estão ocasionalmente presentes no biogás (TABELA 1). Geralmente, esta mistura gasosa é saturada com vapor d'água e pode conter material particulado e compostos orgânicos com silício (siloxanas) (AEBIOM, 2010, p. 5).

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS

Matéria	%
Metano, CH ₄	50-75
Dióxido de carbono, CO ₂	25 – 45
Vapor d'água, H ₂ O	1 – 2
Monóxido de carbono, CO	0 -0,3
Nitrogênio, N ₂	1 – 5
Hidrogênio, H ₂	0 – 3
Sulfeto de Hidrogênio, H ₂ S	0,1 - 0,5
Oxigênio, O ₂	Vestígios

FONTE: AEBIOM (2010)

A velocidade deste processo é influenciada pela composição da matéria-prima. Os tempos de digestão diferem de várias semanas (celuloses), poucos dias

(hemiceluloses, gordura, proteína) para apenas algumas horas (açúcares de baixo peso molecular, ácidos graxos voláteis, álcoois) (AEBIOM, 2010, p. 5).

A produção e utilização da digestão anaeróbica fornece benefícios ambientais e socioeconômicos para a sociedade como um todo, bem como para os agricultores envolvidos. A utilização da cadeia de valor interna da produção do biogás aumenta a capacidade econômica local, pode ser uma fonte extra de renda para os produtores rurais, além de ter uma correta disposição de resíduos com alta carga poluidora, contribuindo para o desenvolvimento social econômico regional e local (IEA, 2012).

Biogás no mundo e no Brasil

Os processos de digestão anaeróbica têm sido utilizados em muitas aplicações e vem demonstrando a sua capacidade de tratar resíduos sólidos e efluentes líquidos. Este processo tem sido aplicado com sucesso no tratamento de efluentes industriais e domésticos, estabilização de lodo de efluentes, manejo de aterros e reciclagem de resíduos biológicos e agrícolas como fertilizantes orgânicos (FNR, 2010, p. 21).

Em termos globais, a implementação da tecnologia de biogás doméstica tem ocorrido em países onde os governos têm sido envolvidos no subsídio, planejamento, projeto, construção, operação e manutenção de usinas de biogás. Em 2011 os países com maior destaque do biogás, China e Índia, já possuíam 42,8 milhões e 4,5 milhões de unidades de biogás em operação, respectivamente (WBA, 2013).

Os Estados Unidos possuem mais de 2.200 usinas de biogás: 191 biodigestores anaeróbicos agrícolas, cerca de 1.500 digestores anaeróbicos em estações de tratamento de esgoto e 576 projetos captura de biogás de aterros sanitários. Em comparação, a Europa tem mais de 10.000 digestores operacionais; algumas comunidades são essencialmente livres de combustível fóssil por causa de sua produção de biogás. Com a meta de chegar ao consumo de 30% de energia renovável, os países da União Europeia tem incentivado o uso do biogás, pois este é visto como uma das principais tecnologias para alcançar esta meta (WBA, 2013).

A Alemanha é o maior produtor de biogás da Europa e líder de mercado em tecnologia de biogás, com mais de 3% do consumo total de eletricidade vindo do

biogás. Em 2012, o número de unidades de biogás alcançou 7.470, incluindo 80 unidades de produção de biometano, e com uma produção elétrica total 20 TWh em 2012, o que equivale ao fornecimento de 5,7 milhões de casas com eletricidade. Já a Suécia é a líder mundial do uso do biogás para o transporte, com cerca de 44.000 veículos utilizando biogás em 2012 (WBA, 2013).

No Brasil, o aproveitamento do biogás ainda é incipiente, com apenas 42 MW de capacidade instalada e 20 MW em construção (ANEEL, 2009). Considerando a elevada concentração da população brasileira em grandes centros urbanos e a expressiva produção agropecuária e agroindustrial (e, portanto, de resíduos e efluentes domésticos, agropecuários e agroindustriais), é natural acreditar que o atual aproveitamento do biogás no Brasil encontra-se bastante abaixo do seu potencial.

2.4.3 Biodigestores

A utilização de biodigestores para geração de energia iniciou a partir da crise energética deflagrada em 1973, passando a ser uma opção adotada tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento. Ao contrário do Ocidente, a energia de países em desenvolvimento é escassa e cara, o que favorece a utilização de tecnologias energéticas que utilizem a digestão anaeróbia, pois são mais simples e baratas (FNR, 2010).

Os países precursores da utilização desta tecnologia foram Índia e China, disseminando posteriormente para outros países, especialmente no Sudeste Asiático (ABBASI *et al.*, 2012). A Índia é conhecida por ter construído o primeiro de biodigestor anaeróbico do mundo (em 1897), utilizando dejetos humanos para geração de eletricidade (KHANAL, 2008). Entretanto a China tem o maior programa de biogás do mundo. Atualmente, mais de vinte cinco milhões de famílias na China estão usando biogás, que responde por mais de 10% de todas as famílias rurais chinesas (ABBASI *et al.*, 2012, p. 14).

2.4.4 Sistema Operacional

De acordo com FNR (2010, p. 33), qualquer que seja a modalidade operacional, uma usina de biogás agrícola geralmente pode ser dividida em quatro etapas de processamento:

1. Gerenciamento do substrato (entrega, armazenamento, tratamento, transporte e carregamento);
2. Geração de biogás;
3. Armazenamento, preparação e deposição de biofertilizantes;
4. Armazenamento, purificação e utilização do biogás.

2.4.5 Diferentes substratos para produção de biogás

Diferentes substratos produzem diferentes quantidades de biogás e metano, dependendo do seu conteúdo de carboidratos, gorduras e proteínas. Em teoria, todos os materiais biodegradáveis com teor de lignina razoável são matérias-primas adequadas para produção de biogás. Na agricultura, esterco e biomassa vegetal podem ser utilizados nas unidades de biogás, enquanto que nos municípios, o desperdício de alimentos e lodo de esgoto são materiais importantes para o processo de geração de biogás. Além disso, diferentes indústrias também produzem subprodutos biodegradáveis que podem ser utilizados em unidades de biogás (LUOSTARINEN *et al.*, 2011, p. 9).

A matéria-prima utilizada no biodigestor pode ser qualquer planta ou resíduo biodegradável, que não sejam lenhosos (a lignina é dificilmente quebrada pelos microrganismos dentro do biodigestor, reduzindo a taxa de geração de biogás). Estes resíduos devem ser estudados com antecedência, a fim de maximizar o potencial energético da planta de biogás. A sazonalidade também deve ser analisada com antecedência, de modo que não haja muitas mudanças no processo e no material adicionado ao biodigestor, ao longo do tempo (NNFCC, 2011).

Esterco animal

Basicamente todos os tipos de esterco animal podem ser utilizados em unidades de biogás, mas dependendo da quantidade, características, e design do biodigestor, estes podem ser digeridos isoladamente ou em conjunto com a digestão de outras matérias-primas (co-digestão). O potencial de produção de metano do esterco animal difere entre os tipos (TABELA 2) e também de outros fatores específicos, como por exemplo, alimentação dos animais, etc. O estrume é um material de boa base para as unidades de biogás como i) é produzido continuamente, ii) contém todos os nutrientes exigidos pelas bactérias anaeróbicas, e iii) tem alta capacidade de armazenamento (LUOSTARINEN *et al.*, 2011, p. 9).

TABELA 2 - PRODUÇÃO E RENDIMENTO DE METANO A PARTIR DE ADUBOS ORGÂNICOS DE ORIGEM ANIMAL

Substrato	MS	MOS	Produção de biogás	Produção CH ₄	Rendimento CH ₄
	[%]	[% MS]	[NM ₃ /Mg MF]	[NM ₃ /Mg MF]	[NM ₃ /Mg MOS]
Esterco líquido bovino	10	80	25	14	210
Esterco líquido suíno	6	80	28	17	250
Esterco bovino	25	80	80	44	250
Esterco de aves	40	75	140	90	280
Esterco de cavalo sem palha	28	75	63	35	165

FONTE: Traduzido pelo autor de FNR (2010)

NOTA: MF = massa fresca (%)

MS = teor de matéria seca (%)

MOS = matéria orgânica seca (%)

Culturas energéticas e resíduos agrícolas

Para a escolha das culturas energéticas para a produção de metano, os parâmetros mais importantes são o rendimento energético líquido, que é definido principalmente pela produção de biomassa e convertibilidade da biomassa em metano, a quantidade produzida e o custo de energia de cultivo e de pré-tratamento. Para a produção de biogás, os resíduos agrícolas devem ser colhidos dentro de seu período primário de crescimento (verde) (FNR, 2010). Segundo Luostarinen *et al.* (2011, p. 10), quanto mais seca a planta estiver, menor a quantidade de biogás

produzido. Além disso, os resíduos agrícolas podem ser utilizados nos biodigestores recém-cortados ou após o armazenamento.

Os substratos agrícolas podem ser obtidos através do aproveitamento dos subprodutos da agricultura, silvicultura, florestas ou indústrias agrícolas, como mostra a Tabela 3. Além disso, tem a vantagem de ser familiares para agricultores e adequados para colheita e armazenamento com os métodos e máquinas já existentes. O segundo método é chamado de culturas energéticas dedicadas, que são culturas para fins energéticos. A cultura energética ideal tem uma conversão solar eficiente, resultando em um alto rendimento energético, necessitando adicionar pouco agroquímico e água, além de possuir pouca umidade durante a colheita (WANG, 2010 p. 11).

TABELA 3 - PRODUÇÃO E RENDIMENTO DE BIOGÁS À PARTIR DE SUBSTRATOS VEGETAIS

Resíduo	MS	MOS	Produção CH ₄		Energia produzida	Referência
	(%) MF	(%) MS	Nm ³ /Mg MF	Nm ³ CH ₄ /Mg MF	kW/t MF	
Resíduo de frutas	15	90	74,3		6,3	SEAI
Bagaço de fruta	20.0	90	93.6		8.0	SEAI
Resto de frutas	20.0	80	56.0		4.8	SEAI
Silagem de milho	32.0	95	200.6		17.1	SEAI
Resíduos vegetais	20.0	80	72.0		6.1	SEAI
Gramma fresca	18.0	90	72.9		6.2	SEAI
Silagem de milho	33	95	200			FNR
Beterraba forrageira	16	90	90	50		FNR
Bagaço de uva	45	85	260	176		FNR
Resíduos verdes	12	87,5	175	105		FNR
Silagem de gramíneas	35	90	180	98		FNR
Bagaço de maçã	35	88	148	100		FNR
Resíduos de hortaliças				27		FNR
Hortaliças (refugo)				41		FNR
Bagaço de frutas (fresco, não tratado)				51		FNR
Batatas (refugo)				95		FNR

FONTE: FNR (2010) e SEAI (2012). Traduzido pelo autor (2015)

NOTA: MF = massa fresca (%)

MS = teor de matéria seca (%)

MOS = matéria orgânica seca (%)

Co-digestão

O conceito de co-digestão anaeróbica é um método de tratamento de resíduos, no qual dois diferentes tipos de resíduos orgânicos são misturados e tratados em um único biodigestor. Ao fazer isso, um subproduto tira proveito dos componentes do outro substrato, para compensar sua falta, e, conseqüentemente, aumentar sua biodegradabilidade e a produção de biogás. Usando essa abordagem, são obtidos resultados satisfatórios com diversas combinações de resíduos agrícolas (WANG, 2010). Além disso, a co-digestão de dois ou mais substratos pode ser feita a fim de (LUOSTARINEN *et al.*, 2011, p. 11):

- i) Aumentar a produção de biogás;
- ii) Superar a inibição por diluição com co-substratos;
- iii) Aumentar a rentabilidade através de tarifas para a recepção e tratamento de matérias-primas provenientes de terceiros; e
- iv) Melhorar a degradação via sinergias geradas pela mistura de diferentes materiais

Segundo Karlsson *et al.* (2014) normalmente, a co-digestão de diferentes substratos apresenta melhor resultado, pois gera maior quantidade de biogás do que se for adicionado ao biodigestor somente um tipo de substrato. Isto se deve, pois com a mistura dos substratos tem-se maior chance de conter todos os componentes que são fundamentais para o crescimento microbiano.

2.4.6 Diferentes escalas

O biogás é produzido em unidades que diferem no tamanho (escala) e tecnologia. As pequenas unidades de biogás são mais comumente utilizadas em países em desenvolvimento para o tratamento de resíduos do cultivo doméstico e cozinha. Nos países desenvolvidos, as unidades de biogás são significativamente maiores e mais avançadas, equipadas com tecnologia moderna para aumentar a capacidade do biodigestor e aplicar um controle de processo para um funcionamento estável. Geralmente biodigestores agrícolas podem ser divididos em diferentes escalas e tamanhos (LUOSTARINEN *et al.*, 2011).

Pequenos biodigestores domésticos

Biodigestores domésticos são muito simples e operados manualmente. Este tipo de unidades de biogás pode ser efetivamente operado em condições de clima quente, e em regiões frias pode exigir controle de temperatura. O biogás produzido é geralmente utilizado para cozinhar e gerar energia elétrica.

Unidades de biogás agrícola: escala agrícola e cooperativa agrícola

Unidades de biogás agrícolas estão interligadas com a criação de animais e / ou produção agrícola, com utilização de esterco animal e biomassa de culturas agrícolas usuais. Maiores unidades de biogás agrícolas têm uma tecnologia simplificada, porém mais avançadas, com automação de base para manter o processo estável, enquanto que maiores plantas de biogás para cooperativas agrícolas também podem usar tecnologias mais avançadas. De acordo com *Institut für Umweltund Energetik*, na Alemanha as unidades de biogás agrícolas são divididas em três grupos de acordo com a capacidade elétrica da unidade (LUOSTARINEN *et al.*, 2011, p. 12):

Pequena escala ≤ 70 kW

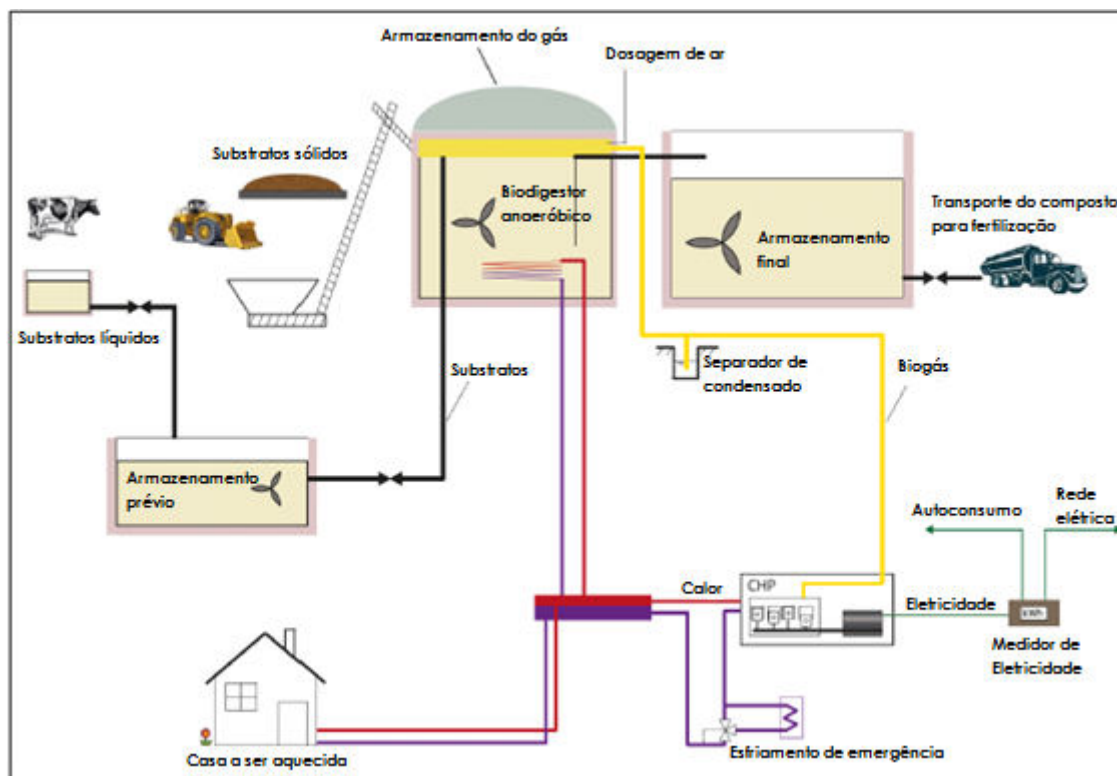
Média escala 70-150 kW

Grande escala 150-500 kW

De acordo com esta divisão, as plantas de biogás entre pequena e média são aplicáveis para fazendas individuais, enquanto que as plantas de biogás entre média e grande escala são aplicáveis para cooperativas agrícolas. Plantas de biogás agrícola visam normalmente fechar os ciclos de nutrientes na fazenda e oferecem uma boa base para o fornecimento de energia sustentável. Na Figura 4 é apresentado o funcionamento geral de uma usina de biogás de média escala, com co-digestão e composta por um reator anaeróbio simples. Os principais produtos da usina de biogás apresentados na Figura 4 são eletricidade, calor e adubo. Dependendo das necessidades locais e situação dos preços para a energia, a

energia produzida é usada na fazenda para substituir a energia de rede comercializada (eletricidade, aquecimento) (LUOSTARINEN *et al.*, 2011).

FIGURA 4 - ESQUEMA GERAL DE UMA UNIDADE DE BIOGÁS COMUM COM REATOR DE TANQUE CONTÍNUO



FONTE: *Institut für Umwelt und Energetik et al.* (2006). Traduzido e adaptado pelo autor (2015).

2.4.7 Unidades de biogás centralizadas

Em unidades de biogás centralizadas, as soluções tecnológicas são geralmente mais complexas do que em unidades de biogás com foco em materiais agrícolas de uma ou poucas fazendas. Além disso, as matérias-primas são frequentemente recolhidas de diversas fontes (agricultura, resíduos municipais e industriais) e adicionadas no biodigestor. A escolha da tecnologia varia especificamente em função das matérias-primas disponíveis, os objetivos da biodigestão (por exemplo, para produção de energia, produção de fertilizantes, estabilização de resíduos ou redução de impacto ambiental), os custos de investimento e operação, sistemas de subsídios disponíveis, etc. (LUOSTARINEN *et al.*, 2011).

2.5 LEGISLAÇÕES PERTINENTES

Segundo dados do MME (2015), cerca de 15% de toda a energia elétrica gerada no Brasil é perdida, principalmente, na fase de distribuição. Desta maneira, um sistema contendo geração distribuída contribui para uma maior integração e otimização dos geradores e consumidores de energia, pois possui sistemas de proteção, comunicação, controle etc., evitando assim que a energia seja perdida com facilidade (BLEY, 2015).

A primeira legislação vigente sobre geração distribuída foi implementada através do decreto 5.163/04 (BRASIL, 2004), e desde então algumas resoluções foram publicadas pela Aneel, como é o caso da resolução normativa RN 482/12, que determina que as conexões em rede de distribuição da energia gerada por mini e microgeradores deveriam ser feitas em regime de compensação, ou balanço de energia. Isso significa que consumidores podem gerar energia e abater o valor excedente da sua conta de energia (ANEEL, 2012). No Quadro 1 é possível identificar as principais legislações pertinentes quando aplicados à microgeradores e projetos de biogás.

QUADRO 1 – NORMATIVAS E LEGISLAÇÕES BRASILEIRAS SOBRE MICROGERADORES E BIOGÁS

Resolução ANEEL nº 245/1999	A energia gerada a partir de biomassa, PCHs e outras fontes alternativas passaram a ser remuneradas pelo valor da geração a base de óleo diesel ou óleo combustível ² .
Lei nº 10.438, de 26/2002, revisada pela Lei nº 10.762/2003	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA, que foi criado no âmbito do Ministério de Minas e Energias – MME
Resolução Normativa ANEEL nº 77/2004	Incentivo para empreendimentos de biomassa que tenham como fonte biogás ou queima de lixo urbano, sendo garantido assim aos proprietários o desconto de 100% na Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (Tusdg).
Decreto Nº 5.163, de 30/2004	Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências.
Resolução normativa nº 390/2008 e 395/2009	Estabelece os procedimentos relativos à qualidade de energia elétrica (QEE) abordando a qualidade do produto e, também, a qualidade do serviço prestado.

² Produtores de eletricidade a partir de resíduos agrícolas e florestais, óleos vegetais e outras matérias-primas de origem orgânica podem receber valores variando de US\$ 60,00 a US\$ 120,00 por MWh, de acordo com a distância e o custo do óleo diesel ou combustível utilizado na pequena usina.

Resolução Normativa ANEEL nº 390/2009	Estabelece que centrais termoelétricas utilizadas para geração distribuída, deverão estar regularizadas perante ANEEL, ter potência instalada menor ou igual a 30MW, não ser despachada pelo ONS e apresentar eficiência energética de no mínimo 75% (ANEEL, 2009).
Resolução normativa RN 482/12	Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

FONTE: Autor (2015)

Entretanto, apesar da resolução normativa RN 482/12 possuir três anos de existência, até o momento apenas 2 projetos estão em vigor (BLEY, 2015). Isso se deve pelo fato da complexidade do sistema, e também das dificuldades que as concessionárias encontram para admitir as conexões em suas redes. Apesar da complexidade da aplicação do sistema de cogeração, este é uma das premissas mais importantes para o desenvolvimento dos agroenergéticos, considerando que sistemas energéticos em grande escala não conseguem se conectar à rede de distribuição facilmente. (BLEY, 2015)

2.6 MERCADO DE CRÉDITO DE CARBONO

Com o objetivo de reduzir as emissões, o Protocolo de Quioto determina que os países estabeleçam programas de redução da emissão de gases de efeito estufa dentro de seus territórios, mas oferece também mecanismos de flexibilização com vistas à diminuição de custos. Os três mecanismos existentes são a Implementação Conjunta (IC), o Comércio de Emissões (CE) e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) (MMA, 2007).

Segundo o artigo 12 do Protocolo de Quioto, o objetivo do MDL é:

[...] assistir às Partes não incluídas no Anexo I, para que atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para o objetivo final da Convenção, e assistir às Partes incluídas no Anexo I, para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões (MMA, 1997, p.14).

O MDL envolve a compra, pelos países desenvolvidos, de certificados de redução de emissões de carbono (RCEs) dos países em desenvolvimento (que não têm metas de redução de emissões) (MMA, 2007). Para que resultem em RCEs, as

atividades de projeto do MDL devem, necessariamente, passar pelas etapas do Ciclo do Projeto relacionadas a seguir:

1. Elaboração do Documento de Concepção do Projeto (DCP ou, em inglês, PDD - *Project Design Document*);
2. Validação pela Entidade Operacional Designada (EOD);
3. Aprovação pela Autoridade Nacional Designada (AND);
4. Registro no Conselho Executivo do MDL;
5. Monitoramento;
6. Verificação e certificação pela Entidade Operacional Designada;
7. Emissão das RCEs pelo Conselho Executivo do MDL.

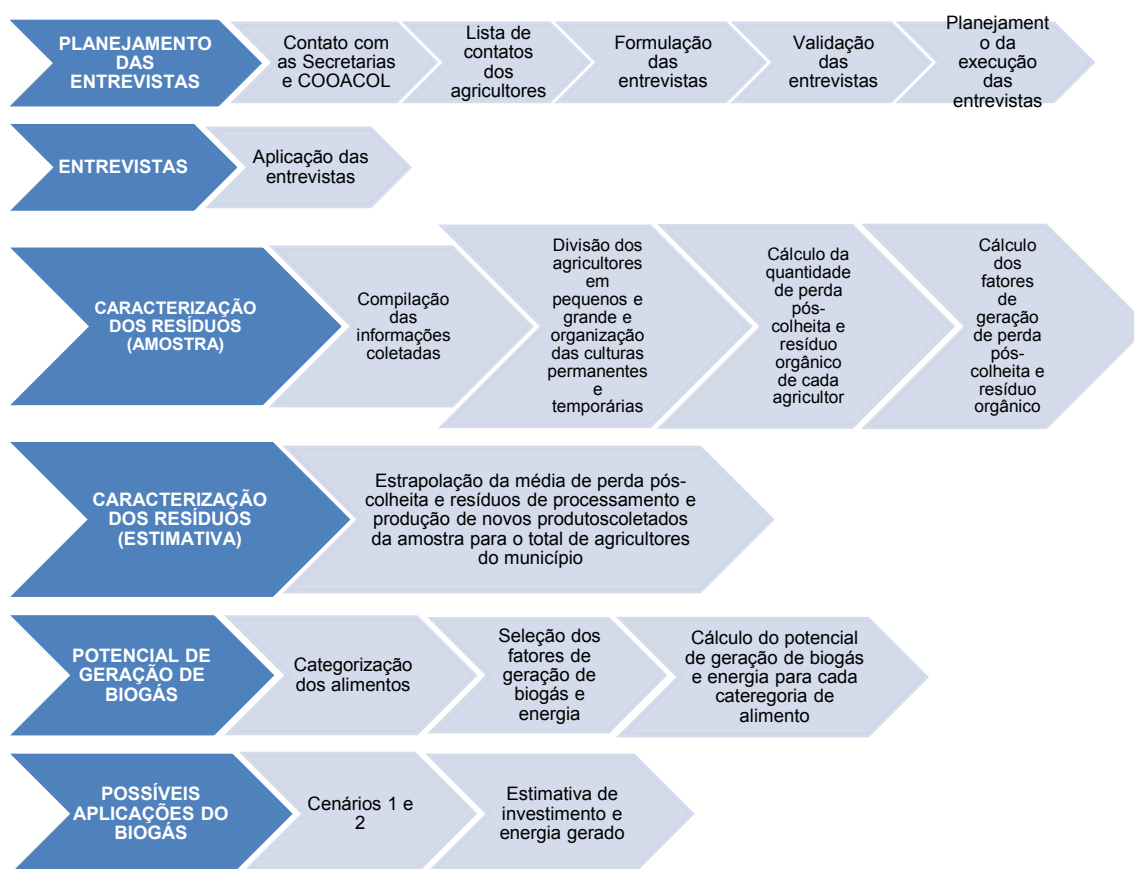
Dentre os projetos abrangidos pelo Protocolo de Quioto, específicos para a gestão de resíduos sólidos, são: Aqueles que sequestram/retiram carbono da atmosfera, mitigando os gases de efeito estufa já gerados, como, por exemplo, projetos de reflorestamento ou plantio; Aqueles que reduzem as emissões de gases de efeito estufa com relação ao que é feito usualmente em determinada atividade produtiva (MMA, 2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho tem como principal objetivo analisar o potencial de aproveitamento dos resíduos hortifruticultura no município de Colombo, e prospectar sua utilizações para geração de biogás. Assim, como mostra a Figura 5, para que este trabalho fosse possível, primeiramente foi elaborado um planejamento das entrevistas que seriam realizadas (amostra) com os produtores, com a aproximação das Secretarias de Abastecimento e Agricultura do município de Colombo, além da Cooperativa Agrícola Familiar de Colombo (COOACOL). Posteriormente, com as informações dos agricultores repassadas pelas secretarias e cooperativa, houve a aplicação das entrevistas, realizada com 51 agricultores (10% do total de agricultores).

A terceira fase do trabalho foi baseada na caracterização dos resíduos, com a compilação das informações coletadas e a realização da estimativa da quantidade gerada de resíduos de hortifruticultura. Posteriormente, foi realizada uma estimativa da quantificação destes resíduos para todos os agricultores do município. Na quinta fase foi estimado o potencial de geração de biogás, seguida pelas possíveis aplicações do biogás gerado, com a análise dos diferentes cenários e investimentos necessários.

FIGURA 5 - FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA UTILIZADA PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

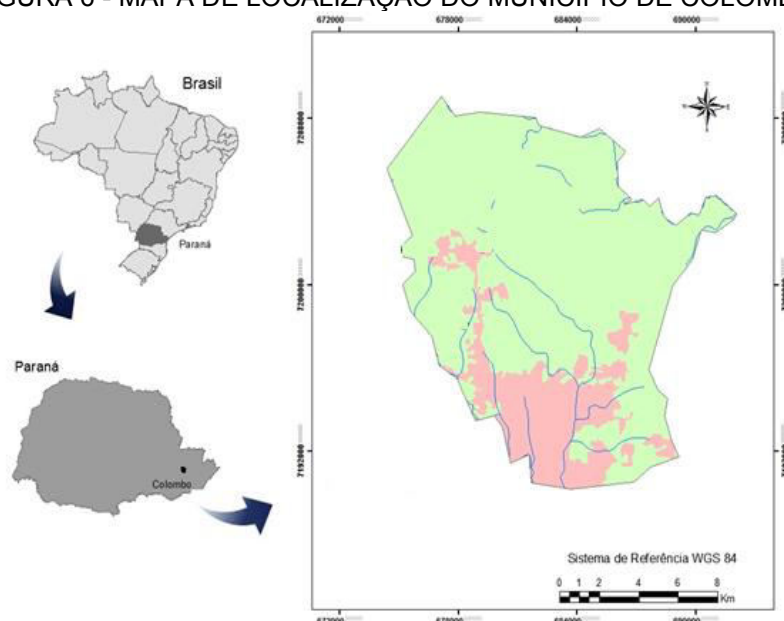


FONTE: Autor (2015).

3.1 LOCAL

O município de Colombo (FIGURA 6) conta com uma área territorial de 197,805 km², e faz divisa com sete municípios, sendo eles: Bocaiuva do Sul, Rio Branco do Sul, Almirante Tamandaré, Curitiba, Pinhais, Quatro Barras e Campina Grande do Sul (IPARDES, 2015). Contém 68.363 domicílios, sendo 4,9% deles na área rural (IPARDES, 2010). As mais recentes estimativas populacionais são de 229.872 habitantes (IBGE, 2014) e com um PIB per capita de R\$ 16.707,83 em 2013 (IBGE, 2013). Possui um índice de desenvolvimento humano (IDH) de 0,733, com uma taxa de alfabetização de 95% e taxa de pobreza de 3,75% (IBGE, 2010).

FIGURA 6 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE COLOMBO



FONTE: AUTOR (2015)

3.1.1 Perfil demográfico e socioeconômico

O Produto Interno Bruto (PIB) per capita é de R\$ 16.707,83 (IBGE, 2013), e segundo o Censo Demográfico (IBGE, 2010), a renda média domiciliar per capita em 2010 foi de R\$ 667,21. O censo de 2010 o IBGE contabilizou a população economicamente ativa em 109.660 pessoas, sendo as ocupações mais importantes, em ordem decrescente de magnitude: serviços, comércio, indústria, construção civil, indústria e agropecuária (TABELA 4).

TABELA 4 - NÚMERO DE ESTABELECIMENTOS E EMPREGOS SEGUNDO ATIVIDADES ECONÔMICAS - 2013

Atividades econômicas	Número de Estabelecimentos	Número de empregos
Estabelecimentos (RAIS) - Total	3.799	11.862
Estabelecimentos (RAIS) - Indústria	738	3.311
Estabelecimentos (RAIS) - Construção Civil	426	9.913
Estabelecimentos (RAIS) - Comércio	1.588	9.913
Estabelecimentos (RAIS) - Serviços	964	14.220
Estabelecimentos (RAIS) - Agropecuária - Agricultura, Silvicultura, Criação de Animais, Extração Vegetal e Pesca	83	689

FONTE: MTE/RAIS (2013)

Como mostra a Tabela 5, o número de pessoas segundo atividade econômica está em sua maioria concentrado na área de serviços, comércio e indústria, representando cerca de 20% do total. Em seguida, a indústria de transformação aparece representando 13% e a construção civil 11%. A agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura representam apenas 3% do total de pessoas trabalhando segundo atividade econômica do município (IBGE, 2010).

TABELA 5 - NÚMERO DE PESSOAS SEGUNDO ATIVIDADE ECONÔMICA - 2010

Atividades econômicas	Nº de pessoas
Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	2.785
Indústrias extrativas	493
Indústrias de transformação	14.496
Eletricidade e gás	309
Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	986
Construção	12.445
Comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas	20.980
Transporte, armazenagem e correio	6.970
Alojamento e alimentação	5.120
Informação e comunicação	1.751
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	1.007
Atividades imobiliárias	475
Atividades profissionais, científicas e técnicas	2.628
Atividades administrativas e serviços complementares	6.650
Administração pública, defesa e seguridade social	3.384
Educação	4.295
Saúde humana e serviços sociais	3.845
Artes, cultura, esporte e recreação	1.274
Outras atividades de serviços	3.714
Serviços domésticos	9.602
Atividades mal especificadas	6.450
TOTAL	109.660

FONTE: IBGE (2010) – Censo demográfico.

3.1.2 Agropecuária

No setor agropecuário, Colombo se destaca pela produção de horticultura e floricultura, contando com 404 estabelecimentos e uma área de 3.499 ha, e produção de lavoura temporária e permanente com 70 e 31 estabelecimentos

respectivamente, totalizando 505 estabelecimentos agrícolas e uma área de 1.197 ha, como mostra a Tabela 6.

TABELA 6 - ESTABELECIMENTOS AGROPECUÁRIOS E ÁREA SEGUNDO AS ATIVIDADES ECONÔMICAS- 2006

Tipo de estabelecimento agropecuário	Número	Área total (ha)
Lavoura Temporária	70	985
Horticultura e Floricultura	404	3.499
Lavoura Permanente	31	212
Pecuária e Criação de Outros Animais	141	1.613
Produção Florestal - Florestas Plantadas	15	935
Produção Florestal - Florestas Nativas	3	14
Aquicultura	1	-
Total estabelecimentos agropecuários	665	7.268

FONTE: IBGE (2006) - Censo Agropecuário

Dentre os principais produtos produzidos no município, se destacam a produção de milho, tomate e uva com uma quantidade total produzida de 9.726 toneladas no ano de 2013. Os alimentos que têm um maior rendimento são o tomate, com um rendimento médio de 50.300 kg/ha, e a mandioca com um rendimento médio de 17.320 kg/ha. Apesar de o milho ter apresentado a maior produção em 2013, este representa um dos piores rendimentos, com 5.703 kg/ha (TABELA 7).

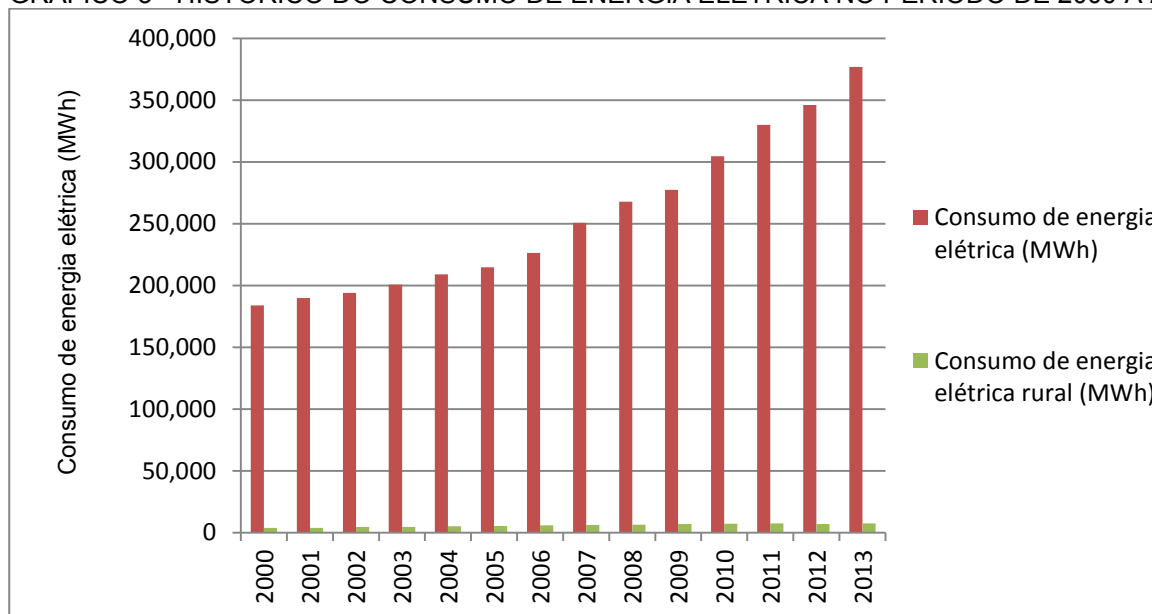
TABELA 7 - ÁREA COLHIDA, PRODUÇÃO, RENDIMENTO MÉDIO E VALOR DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA POR TIPO DE CULTURA - 2013

Tipo de cultura	Área colhida (ha)	Quantidade produzida (Mg)	Rendimento médio (kg/ha)	Valor (R\$ 1.000,00)
Caqui	51	590	11.569	899
Cebola	2	34	17.000	31
Feijão	40	57	1.425	166
Figo	5	35	7.000	53
Limão	4	30	7.500	18
Mandioca	25	433	17.320	87
Milho	885	5.047	5.703	1.565
Pera	2	20	10.000	19
Pêssego	10	110	11.000	237
Tomate	60	3.018	50.300	3.923
Uva	110	1.661	15.100	1.993

FONTE: IBGE (2013) - Produção Agrícola Municipal

O consumo de energia elétrica do município de Colombo em 2013 foi de 376.842 MWh, e teve um aumento progressivo, com mais de 50% desde 2000 (TABELA 13). Isto se deve principalmente ao aumento da população (15% de 2001 a 2013) e também pelo crescimento de indústrias e comércio no município.

GRÁFICO 3 - HISTÓRICO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO PERÍODO DE 2000 A 2013

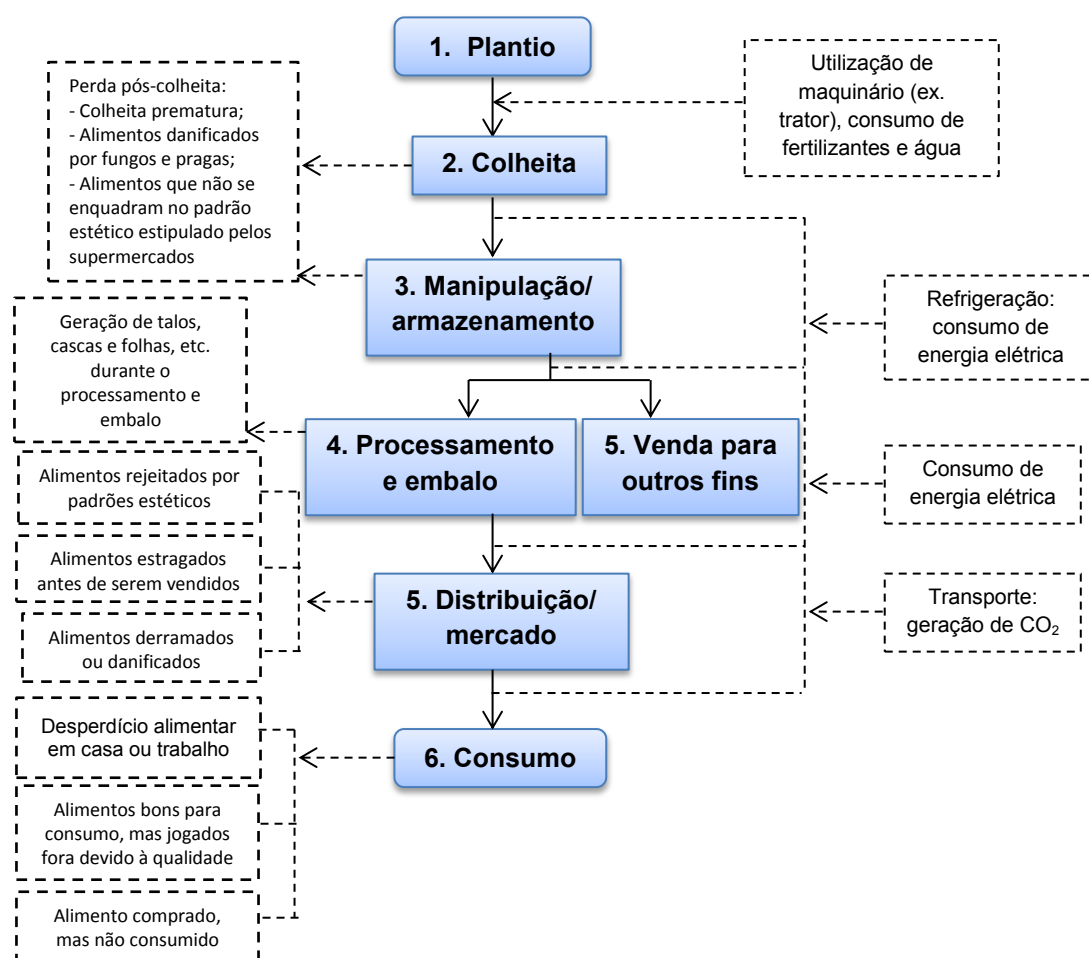


FONTE: COPEL (2013)

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE HORTIFRUTICULTURA

Para a caracterização dos resíduos de hortifruticultura, primeiramente, foi realizada uma análise preliminar do ciclo de vida produtivo da hortifruticultura a fim de se encontrar a melhor abordagem do trabalho. Assim, considerando que em países em desenvolvimento mais de 40% das perdas de alimentos ocorrem em níveis pós-colheita e processamento (BAGHERZADEH *et al.*, 2014), este trabalho buscou analisar as saídas das fases de colheita, manipulação e armazenamento e processamento e embalo, pois é onde ocorre a maior parte da perda de pós-colheita e geração de resíduos, como mostra a Figura 7.

FIGURA 7 – FLUXOGRAMA COM A ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) DA PRODUÇÃO DE HORTIFRUTICULTURA.



FONTE: Autor (2015).

Para a realização da coleta de dados sobre a geração de resíduos de hortifruticultura do município de Colombo, foram realizadas entrevistas com uma parcela de 10% do total de agricultores do município (51 agricultores), visando estimar dois diferentes fatores de geração de resíduos:

- 1) *Perdas pós-colheita*: definidos como aqueles alimentos que não conseguem ser vendidos por diferentes razões, como falta de demanda, padrões estéticos estipulados pelo supermercado, colheita prematura, alimentos danificados por fungos e pragas etc., como mostra a fase 2 e 3 da Figura 7.
- 2) *Resíduos provenientes do processamento de alimentos e produção de novos produtos e embalo*: definidos como aqueles resíduos que são descartados

após a manipulação e embalo do alimento (ex. talos, cascas e folhas), como é mostrado na fase 4 da Figura 7.

Durante a realização do trabalho, foi verificado não ser possível estimar a parcela dos resíduos agrícolas gerados nas atividades de cultivo e colheita da produção em campo, pois a maioria dos entrevistados não soube quantificar os resíduos agrícolas gerados (ex. palha, raízes etc.) da produção, mas somente o percentual de resíduos de hortifruticultura provenientes do embalo e processamento e perda pós-colheita de cada cultura produzida. Segundo Matos (2005), a produção de resíduos agrícolas é extremamente variável, dependendo da espécie cultivada, do fim a que se destina, das condições de fertilidade do solo, condições climáticas, entre outros fatores.

Para a realização da coleta de dados e informações de agricultores do município de Colombo, foi selada uma parceria formal com as Secretarias de Agricultura, Abastecimento e Planejamento do município de Colombo e a Cooperativa de Agricultores Familiares de Colombo (COOACOL), esta última forneceu os contatos dos agricultores familiares associados à cooperativa para realização das entrevistas.

Durante 10 dias, foram realizadas 51 entrevistas (APÊNDICE 1), representando 10% do total de agricultores do município. Para a classificação do tamanho da propriedade, foi utilizada como base a Lei Nº 8.629/1993, que define a classificação do tamanho da propriedade rural de acordo com o tamanho do módulo fiscal de cada município. Assim, de acordo com INCRA (2013 p. 68), o município de Colombo possui um módulo fiscal de 10 ha, e se baseou na seguinte classificação estipulada pela Lei 8.629/1993 (BRASIL, 1993):

Minifúndio – imóvel rural com área inferior a 1 (um) módulo fiscal;

Pequena Propriedade - imóvel de área compreendida entre 1 (um) e 4 (quatro) módulos fiscais;

Média Propriedade - imóvel rural de área superior a 4 (quatro) e até 15 (quinze) módulos fiscais;

Grande Propriedade - imóvel rural de área superior 15 (quinze) módulos fiscais.

Após a classificação do tamanho de cada propriedade rural, definiram-se as lavouras para culturas permanentes e para as culturas temporárias. As culturas permanentes são definidas como aquelas que possuem duração superior a um ano e propiciam mais de uma colheita ou produção sem a necessidade de replantio,

recebendo apenas tratamentos culturais no intervalo entre as colheitas (AMORIM, 2011, p. 3). Já as culturas temporárias são aquelas sujeitas ao replantio após a colheita, possuindo período de vida muito curto entre o plantio e a colheita (AMORIM, 2011).

Além disso, também se considerou a sazonalidade de cada cultura, a fim de obter-se um valor de geração de resíduo mais próximo do real. De acordo com André (2013) as condições climáticas das diferentes estações do ano são responsáveis por diferentes produções agrícolas em cada estação, onde os alimentos produzidos “localmente” revelam uma maior sazonalidade na produção agrícola de cada cultura. Desta maneira, para o levantamento da sazonalidade de cada cultura foi utilizado como base a tabela CEAGESP (2015), que define o período da sazonalidade de cada hortifruticultura.

Assim, a partir das entrevistas realizadas (amostra), foram identificados os fatores de geração de resíduos de hortifruticultura das propriedades. Devido a dificuldade de se obter uma padronização das respostas referentes a geração de resíduos de hortifruticultura³ de cada propriedade, primeiramente os dados coletados foram estimados para uma geração diária, e posteriormente anual, considerando também a parcela de culturas temporárias e permanentes e a sazonalidade⁴ de cada cultura.

Com o resultado dos dados amostrais, estimou-se então a geração de resíduos de hortifruticultura para demais propriedades, utilizando dados do IBGE sobre a quantidade de agricultores existentes no município e dados da amostra, sobre o percentual de pequenos e grandes agricultores entrevistados.

3.3 ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS

Com a caracterização da geração de resíduos de hortifruticultura dos agricultores de Colombo, estimou-se o potencial de produção de biogás produzido a partir da digestão anaeróbica destes resíduos, como também seu potencial energético.

³ Os produtores relataram a geração de resíduos de hortifruticultura diária, semanal ou mensal.

⁴ A partir dos dados da sazonalidade de cada cultura (número de meses/ano), se multiplicou pela quantidade diária de perda pós-colheita e resíduos de hortifruticultura.

Após o levantamento de algumas referências para o potencial de geração de biogás e energia, optou-se por utilizar os valores apresentados por *Sustainable Energy Authority of Ireland* (SEAI, 2012), que contempla os fatores de umidade e sólidos voláteis⁵ de cada biomassa, sendo fundamentais para o posterior cálculo de dimensionamento do biodigestor.

Desta maneira, utilizando como base os dados apresentados na Tabela 8, foi estimado o potencial de geração de biogás dos resíduos de hortifruticultura, sendo que estes foram classificados em *bagaço de fruta*, *resíduo de fruta* e *resíduos vegetais*, pois não se encontrou na bibliografia o potencial de geração de biogás para cada uma das culturas produzidas.

TABELA 8 - PROPRIEDADES DOS SUBSTRATOS DE RESÍDUOS DE FRUTAS E VEGETAIS

Resíduo	MS	MOS	Produção de biogás		Energia produzida	Referência
	MF	MS	M ³ /Mg MS	M ³ /Mg MF	kW/Mg MF D	
Bagaço de fruta	20	90	520	93,6	8,0	SEAI
Resíduos de frutas	15	90	550	74,3	6,3	SEAI
Resíduos vegetais	20	80	450	72,0	6,1	SEAI

FONTE: SEAI (2012)

NOTA: MF = massa fresca (%)

MS = teor de matéria seca (%)

MOS = matéria orgânica seca (%)

D= dia

3.4 POSSÍVEIS USOS DO BIOGÁS GERADO

Utilizando o software de geoprocessamento *Arcgis* para a gestão territorial Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) e mapas de hidrografia e zoneamento do município, foi possível identificar e cadastrar as 51 propriedades ali instaladas, que trabalham com a produção de hortifruticultura. Este mapeamento teve o objetivo de analisar a distância de uma propriedade a outra, identificando assim quais as possíveis alternativas de aproveitamento do biogás e aplicações energéticas.

⁵ A biodigestão anaeróbia é bastante exigente e necessita de controle de alguns fatores para que haja um melhor aproveitamento do sistema de digestão, como temperatura e teor de matéria seca e umidade (ROMERO, 2013).

Assim, a partir do cadastramento foi possível identificar as possíveis estruturas de aproveitamento do biogás gerado e estruturar a logística final do projeto. Identificaram-se então dois possíveis cenários para a estruturação do projeto e aproveitamento do biogás gerado⁶:

Cenário 1 - um sistema constituído de um biodigestor em cada propriedade com o aproveitamento independente do biogás gerado, que poderia assim contemplar todos os 51 agricultores;

Cenário 2 - um sistema constituído de um biodigestor em cada propriedade, possuindo captação e transporte do biogás por gasodutos rurais e, ao final, uma microcentral de energia ou termelétrica a biogás, a ser gerida em condomínio cooperativo de agroenergia entre os agricultores participantes (que possuíssem uma distância de até 2 km de distância entre suas propriedades).

3.5 DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR

A metodologia utilizada para o dimensionamento do biodigestor foi baseada no *Guia Prático de Biogás* (FNR, 2010) e no *Manual Prático de Diseño de Biodigestores* (ROMERO, 2013), que fornecem os parâmetros e equações utilizadas para o dimensionamento do biodigestor.

Um dos parâmetros fundamentais para o dimensionamento do reservatório é o tempo de retenção hidráulica (TRH), que representa o tempo médio calculado que um substrato permanece no biodigestor até a sua saída. Em biodigestores contínuos e semicontínuos, o TRH se define como o valor em dias do cociente entre o volume do biodigestor e o volume de carga diária. O TRH normalmente varia entre 15 e 45 dias (FNR, 2010). No Brasil, o TRH mais adotado situa-se entre 22 e 30 dias (BARROS, 2015).

A melhor maneira de se obter um bom dimensionamento do volume do biodigestor é selecionar um TRH que se obtenha um valor de COV (carga orgânica volumétrica) $\leq 3 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ (ROMERO, 2013).

⁶ É válido ressaltar que um estudo mais aprofundado é necessário, e esse cadastramento servirá como base para um mapeamento futuro de estruturas de captação, limpeza e conversão do biogás em energia.

Para obtê-lo, utilizaram-se dados de referencial bibliográfico, conforme sugere Velmurugan e Ramanujam (2011) para a utilização de um TRH de 30 dias para resíduos vegetais.

Os tanques de alimentação são dimensionados a partir do volume diário da alimentação do biodigestor. A mistura é feita uma vez ao dia e se programa para que toda a carga seja misturada em 8-10 horas, de forma automática ou manual, durante as 24 horas. Este volume inclui o volume da biomassa e água que será utilizada para a diluição. O volume da água que deverá ser adicionada para a diluição da biomassa depende do percentual de massa seca da biomassa (MS), conforme mostra a Equação 2 (ROMERO, 2013).

$$MS_T = Q * MS \quad (1)$$

Em que:

MS_T = quantidade de biomassa seca;

Q = quantidade de biomassa disponível (m^3 /dia);

MS = percentual de massa seca (%).

O volume de água para a mistura é descrito na Equação 3 e 4 (ROMERO, 2013):

$$V_m = Q_{\text{afluente}} - Q \quad (2)$$

$$Q_{\text{afluente}} = MS/D \quad (3)$$

Em que:

V_m = volume de água para a mistura;

Q = Quantidade de biomassa disponível (m^3 /dia);

Q_{afluente} = é a divisão do percentual de massa seca (MS) pelo percentual de diluição (D) recomendado (10%⁷), de acordo com Romero (2013). O volume de água para a mistura depende do teor de massa seca de cada biomassa.

⁷ 90% de água para resíduos vegetais (ROMERO, 2013).

O volume útil do biodigestor (V_d) é descrito na Equação 5, e é a multiplicação do $Q_{afiuente}$ e o tempo de retenção hidráulica (TRH). O volume útil do biodigestor depende da continuidade da alimentação.

$$V_d = Q_{afiuente} * TRH \quad (4)$$

A carga orgânica volumétrica (COV) indica a quantidade de matéria orgânica seca (MOS) necessária a ser carregada dentro do biodigestor por m^3 de volume de trabalho, por unidade de tempo (FNR, 2010, p. 26). O valor da COV depende principalmente da temperatura do processo interno do biodigestor e do tempo de retenção hidráulica (TRH). A COV é considerada um parâmetro para controlar a carga do biodigestor e é um fator determinante para o dimensionamento do biodigestor. Quanto menor a temperatura e maior o TRH, maior a COV, portanto, mais matéria orgânica pode ser adicionada ao biodigestor. Normalmente, a COV alcança valores entre 2,5-3,0 kg MV/ m^3 por dia (ROMERO, 2013). A carga orgânica volumétrica é descrita nas Equações 6 e 7.

$$COV = MV / V_d \quad (5)$$

Em que:

COV = carga orgânica volumétrica ($m^3.d$)

V_d = volume útil do biodigestor (m^3)

$$MV = (Q * MS * MOS) * P \quad (6)$$

Em que:

Q = quantidade de biomassa disponível (m^3/dia),

MS = percentual de massa seca (%),

MOS = percentual de massa úmida (%)

P = peso específico da biomassa (kg/m^3).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE HORTIFRUTICULTURA GERADOS

4.1.1 Resultados da amostra

Utilizando como base a classificação estipulada pela Lei Nº 8.629/1993 (BRASIL, 1993) sobre o tamanho de cada propriedade rural, e baseando-se nos dados de INCRA (2013 p. 68), que define que o município de Colombo possui um módulo fiscal de 10 ha, a amostra realizada teve como propriedades entrevistadas: 3 médias propriedades, com área compreendida entre 4 e 15 módulos fiscais (10 - 150 ha); 13 pequenas propriedades, com uma área compreendida entre 1 e 4 módulos fiscais (10 - 40 ha); e 35 minifúndios, com área inferior a 1 módulo fiscal (10 ha).

Durante as entrevistas realizadas, foram identificados diferentes fatores de geração de resíduos de processamento e produção de novos produtos e perdas pós-colheita, dependendo do tamanho da propriedade agrícola, como também o tipo de alimento produzido e local de venda dos produtos. Os agricultores entrevistados relataram uma geração de resíduos de processamento e produção de novos produtos entre $27,4 \text{ kg.dia}^{-1}$ e $10.000 \text{ kg.dia}^{-1}$ e perdas pós-colheita de hortifruticultura entre 10-20%⁸ na maioria dos casos (chegando até a 50%). Todos os entrevistados que geram a maior parcela dos resíduos orgânicos são médios agricultores, pois a maioria deles faz o processamento ou embalo do alimento para posterior venda.

Assim, a quantidade total de resíduos de processamento e produção de novos produtos gerados a partir das entrevistas realizadas foi de $20,3 \text{ Mg.dia}^{-1}$ ou $4.421,8 \text{ Mg.ano}^{-1}$, e em termos de perdas pós-colheita, este valor é três vezes menor contabilizando $6,5 \text{ Mg.dia}^{-1}$ ou $1.357,5 \text{ Mg.ano}^{-1}$ (TABELA 9). Isso se deve principalmente pelo fato de que a maioria dos pequenos e médios agricultores geram grandes quantidades de resíduos de processamento e embalo dos produtos para posterior venda em grandes supermercados de Curitiba.

Dentre as hortifruticultura que mais se destacam em termos de geração de resíduo está a uva, gerando cerca de 178 kg.dia^{-1} (considerando que o bagaço é

⁸ Este percentual foi relatado por cada agricultor diferentemente. O valor final de perda pós-colheita (kg.dia^{-1}) foi calculado levando em consideração a quantidade produzida de cada cultura.

descartado na fabricação do vinho e suco de uva). O brócolis também representa uma elevada geração de resíduo (35 kg.dia^{-1}), pois grande parte do alimento é composto por talos e folhas, que são descartados no processamento e embalo. A alface também gera grande quantidade de resíduos ($24,5 \text{ kg.dia}^{-1}$), pois perde parte das folhas externas devido principalmente a condições climáticas adversas (Tabela 9).

Em termos de perda pós-colheita, as culturas que se destacaram foram a acelga ($381,62 \text{ kg.dia}^{-1}$), alfaces: crespa, americana e roxa ($1.440 \text{ kg.dia}^{-1}$), brócolis ($547,1 \text{ kg.dia}^{-1}$), couve-flor ($450,9 \text{ kg.dia}^{-1}$), radichio ($333,33 \text{ kg.dia}^{-1}$) e repolho ($437,46 \text{ kg.dia}^{-1}$). Estes valores se devem principalmente pelas elevadas quantidades de perdas pós-colheita de médio/grande agricultores, que produzem quantidades de alimentos significativas diariamente. Na Tabela 9 é possível visualizar um resumo das culturas de hortifruticultura identificadas e a quantidade diária e anual de resíduos de processamento e produção de novos produtos e perdas pós-colheita gerados no município de Colombo proveniente da amostra realizada.

TABELA 9 - RESULTADO GERAL DOS RESÍDUOS DE PROCESSAMENTO E PRODUÇÃO DE NOVOS PRODUTOS E PERDAS PÓS-COLHEITA GERADOS

Cultura	Resíduos de processamento e produção de novos produtos		Perdas pós-colheita	
	(kg.dia^{-1})	(kg.ano^{-1})	(kg.dia^{-1})	(kg.ano^{-1})
Abóbora	0,0	0,00	10,73	2.575,80
Abobrinha	0,0	0,00	28,94	8.683,24
Acelga	12,2	1.467,43	381,62	45.794,29
Agrião	0,0	0,00	7,99	2.396,48
Alface (lisa e crespa)	0,0	0,00	716,32	128.937,15
Alface Americana	24,5	4.402,29	389,91	70.183,68
Alface roxa	0,0	0,00	333,33	60.000,00
Alho-poró	0,0	0,00	0,09	23,14
Amora	0,0	0,00	0,11	9,86
Batata	0,0	0,00	1,37	164,38
Batata salsa	0,0	0,00	0,27	65,75
Berinjela	7,1	857,14	19,09	2.290,21
Beterraba	14,3	2.571,43	24,15	4.347,39
Brócolis	35,0	9.450,00	547,09	147.714,74
Brócolis japonês	0,0	0,00	5,04	1.360,80
Caqui	0,0	0,00	0,55	65,75
Cebolinha e salsinha	0,0	0,00	1,61	386,74
Cenoura	9,5	2.571,43	116,67	31.500,00
Cheiro verde	0,0	0,00	0,03	8,23
Chuchu	0,0	0,00	173,93	36.524,40
Couve flor	0,0	0,00	450,90	94.688,49
Couve manteiga	2,2	453,60	44,80	9.408,00

Cultura	Resíduos de processamento e produção de novos produtos		Perda pós-colheita	
	(kg.dia ⁻¹)	(kg.ano ⁻¹)	(kg.dia ⁻¹)	(kg.ano ⁻¹)
Escarola	0,0	0,00	0,58	120,96
Morango	0,0	0,00	0,77	92,05
Milho	7,1	1.500,00	7,95	1.668,49
Pepino	9,5	2.285,71	136,98	32.876,00
Pimentão	11,9	2.500,00	124,25	26.092,17
Pimentão verde	0,0	0,00	3,98	1.075,50
Radichio	0,0	0,00	333,33	80.000,00
Rabanete	0,0	0,00	9,04	2.441,65
Repolho	12,5	2.988,62	437,46	104.989,82
Rúcula	0,0	0,00	8,07	1.695,00
Salsão	0,0	0,00	1,50	134,74
Tangerina	0,0	0,00	0,00	0,00
Tomate	0,4	107,14	33,49	8.037,24
Vagem	0,0	0,00	20,12	3.017,61
Uva	178,1	10.684,93	0,00	0,00
Hortaliças em geral	20.000,0	4.200.000,00	2.133,93	448.125,00
TOTAL	20.324,4	4.241.839,72	6.505,98	1.357.494,78

FONTE: Autor (2015).

Em suma, de acordo com a Tabela 10, os pequenos e médios agricultores contribuem com uma maior parcela de resíduos de processamento e produção de novos produtos e perdas pós-colheita no município de Colombo. A lavoura temporária também tem uma maior contribuição na geração de resíduo e perda pós-colheita, com um total de 20,14 Mg.dia⁻¹ e 6,33 Mg.dia⁻¹ respectivamente.

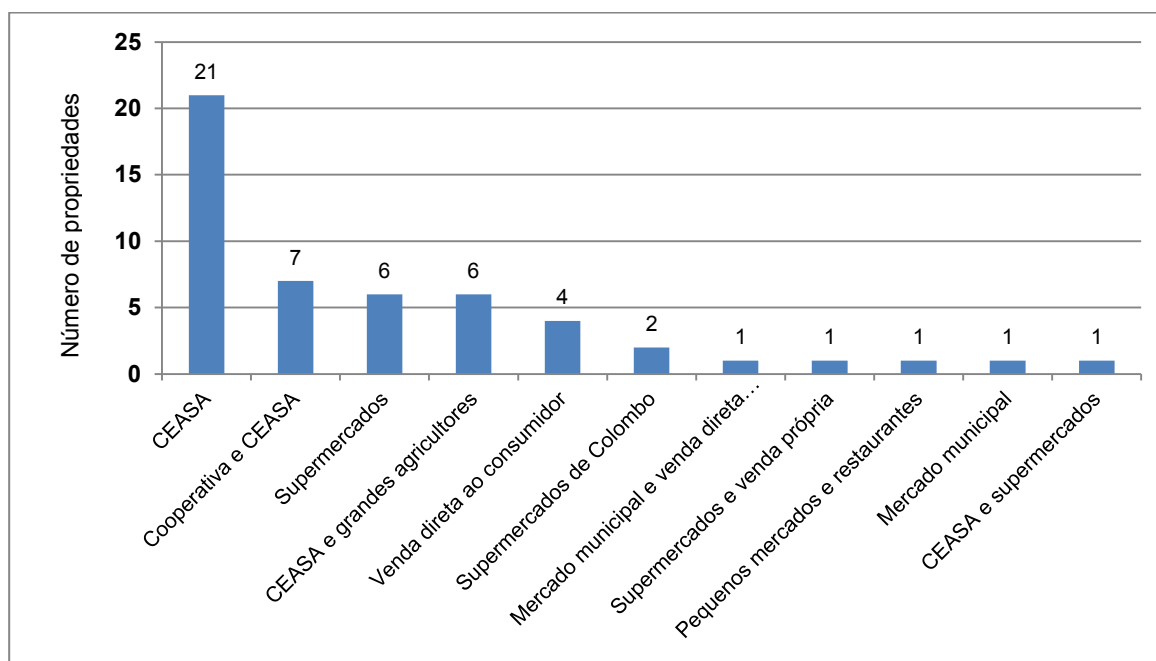
TABELA 10 - MONTANTE TOTAL DE RESÍDUOS DE PROCESSAMENTO E PRODUÇÃO DE NOVOS PRODUTOS E PERDAS PÓS-COLHEITA A PARTIR DA AMOSTRA REALIZADA

Média propriedade = 3						
	Alimento	Qtd.	Resíduos de processamento e produção de novos produtos		Perdas pós-colheita	
			Total (kg.dia ⁻¹)	Total (kg.ano ⁻¹)	Total (kg.dia ⁻¹)	Total (kg.ano ⁻¹)
Lavoura temporária	Hortaliça	3	20.146,27	4.231.154,79	4.883,38	1.007.967,18
Pequena propriedade = 13						
Lavoura permanente	Amora	1	-	-	0,11	9,86
	Uva	3	178,0821918	10684,93151	-	-
	Chuchu	2	-	-	59,74	12893,40
Lavoura temporária	Hortaliças	10	-	-	291,59	57.751,23
	Morango	1	-	-	0,77	92,05
Minifúndio = 35						
Lavoura permanente	Caqui	1	-	-	0,55	65,75
	Chuchu	2	-	-	45,21	9494,40
	TOTAL	3	-	-	45,76	9.560,15
Lavoura temporária	Hortaliças	35	-	-	1.224,63	269.220,91
TOTAL GERAL		51	20.324,35	4.241.839,72	6.505,98	1.357.494,78

FONTE: Autor (2015)

Em termos de perdas pós-colheita, de acordo com os agricultores entrevistados, foram identificados três principais fatores para a grande sobra da produção. O primeiro é referente à demanda incerta de alimentos, que muitas vezes não é regular, e depende de cada época do ano, acarretando muitas vezes em uma produção maior do que a real demanda. O segundo fator limitante é o local de venda destes produtos, levando em consideração que mais de 41% dos agricultores (GRÁFICO 4) vende para o CEASA⁹ (excluindo médios produtores que vendem diretamente para supermercados). Isto se deve pelo fato de que o preço dos produtos vendidos é estipulado pelo CEASA e varia diariamente, acarretando em uma falta de planejamento por parte dos produtores, sobre quais produtos devem ser plantados e colhidos em diferentes épocas do ano.

GRÁFICO 4 - LOCAL DE VENDA DOS PRODUTOS, DE ACORDO COM AS ENTREVISTAS REALIZADAS



FONTE: Autor (2015).

Os preços dos alimentos também são incertos, o que muitas vezes dificulta o planejamento dos produtos que devem ser produzidos em maior quantidade, de acordo com o preço estipulado por pequenos supermercados, cooperativas etc. O

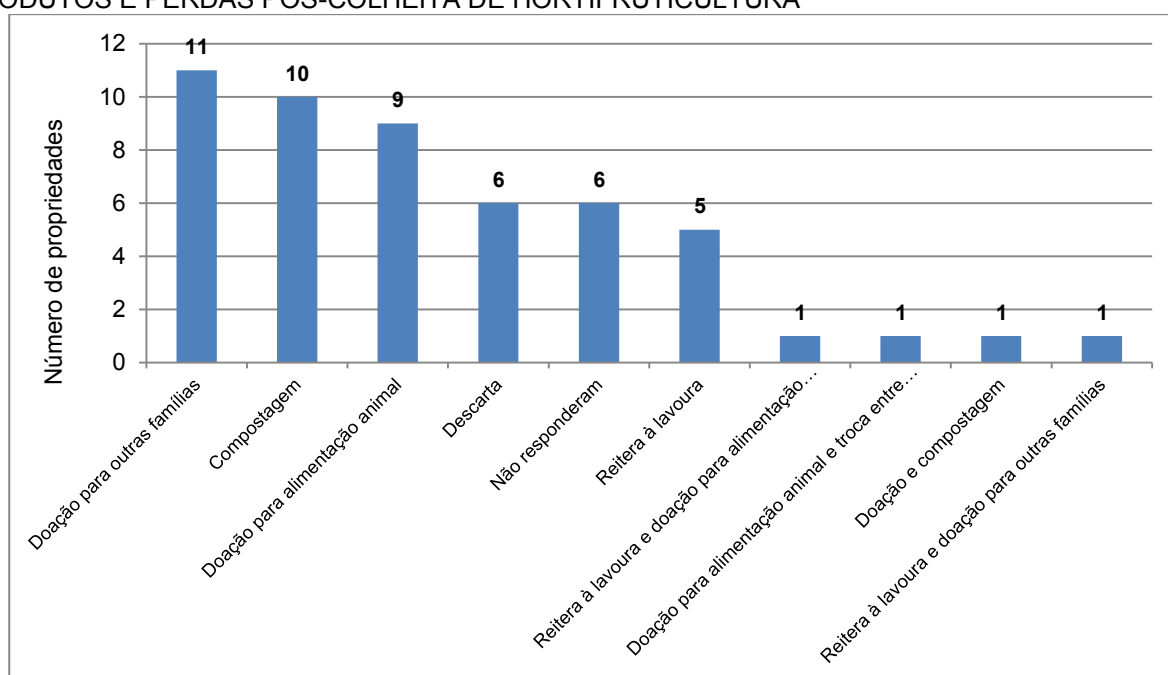
⁹ Alguns dos pequenos agricultores entrevistados também vendem parte da produção para a COOACOL ou para clientes específicos.

terceiro fator limitante é o conceito “estético” dos produtos, para aqueles agricultores que vendem diretamente para supermercados. Apesar da demanda ser constante, alguns dos produtos retornam dos supermercados, ou muitas vezes nem chegam a serem aceitos, pois sua aparência não se encaixa nos padrões estéticos aceitos pelos mesmos.

Conforme afirma FAO (2011), em países desenvolvidos a perda de alimento ocorre quando a produção excede a demanda. A fim de garantir a entrega de quantidades previamente solicitadas, muitas vezes os agricultores fazem o planejamento da produção do ponto de vista “seguro” e acabam produzindo maiores quantidades do que realmente necessitam. Assim, aqueles alimentos que não conseguem ser vendidos são doados para outros fins, como para outras famílias ou alimentação animal, acarretando em prejuízo para os agricultores.

Durante as entrevistas foi constatado que a destinação dos resíduos de processamento e produção de novos produtos e perdas pós-colheita gerados para a maioria dos agricultores normalmente é feita através da doação para outras famílias para alimentação (22%), ou para agricultores que possuem animais (mais especificamente para a alimentação animal), contribuindo com 18%. Já outra parcela dos agricultores (10%) faz compostagem em sua própria propriedade, outra parcela descarta (12%) e reitera na própria lavoura (10%), como mostra o Gráfico 5.

GRÁFICO 5 – DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS DE PROCESSAMENTO E PRODUÇÃO DE NOVOS PRODUTOS E PERDAS PÓS-COLHEITA DE HORTIFRUTICULTURA



FONTE: Autor (2015)

4.1.2 Resultados da estimativa

Considerando o número total de 505 agricultores do município de Colombo (IBGE, 2012), aplicou-se o resultado dos dados coletados da amostra, referente ao percentual de minifúndios, pequenas e médias propriedades, de acordo com a classificação estipulada por INCRA (2013 p. 68) sobre o tamanho do módulo fiscal de cada município. Desta maneira, estimou-se que no município de Colombo existam 366 minifúndios, 136 pequenas propriedades e 3 médias propriedades (TABELA 11).

TABELA 11 - ESTIMATIVA DE MÉDIA/GRANDE PROPRIEDADES E MINIFÚNDIOS A PARTIR DA AMOSTRA REALIZADA

Agricultores	Resultados da amostra		Resultados da estimativa
	Nº de agricultores	%	Nº de agricultores
Média propriedade	3	-	3
Pequena propriedade	13	27	136
Minifúndio	35	73	366
TOTAL	51	100%	505

FONTE: Autor (2015).

Para a estimativa da quantidade de médias propriedades no município de Colombo, optou-se por continuar com a quantidade encontrada na amostra, uma vez que não existem outras médias ou grandes propriedades no município, além das três encontradas¹⁰.

O resultado total da estimativa dos resíduos de processamento e produção de novos produtos e perdas pós-colheita gerados pelos 505 agricultores foi de 22,01 Mg.dia⁻¹ ou 4.343 Mg.ano⁻¹ e 21,85 Mg.dia⁻¹ ou 4.663,67 Mg.ano⁻¹ respectivamente (TABELA 12). Observa-se que apesar do número de médias propriedades ser menor que de pequenas propriedades, estes contribuem com 92% dos resíduos gerados. Isto se deve principalmente pelo fato destes agricultores possuírem uma área maior de terra para a produção das culturas, além de gerarem uma grande quantidade de resíduos durante o processamento e embalo dos produtos para posterior venda em

¹⁰ Considerando a falta de dados confiáveis, estes foram confirmados com os médios agricultores, já entrevistados, do município.

grandes supermercados de Curitiba¹¹. Já em termos de pós-colheita, os minifúndios foram os que mais se destacaram, com a geração de cerca de 60% do total.

TABELA 12 - MONTANTE TOTAL DE RESÍDUOS DE PROCESSAMENTO E PRODUÇÃO DE NOVOS PRODUTOS E PERDAS PÓS-COLHEITA A PARTIR DA ESTIMATIVA DOS AGRICULTORES

Média propriedade = 3						
	Alimento	Qtd.	Resíduos de processamento e produção de novos produtos		Perdas pós-colheita	
			Total (kg.dia ⁻¹)	Total (kg.ano ⁻¹)	Total (kg.dia ⁻¹)	Total (kg.ano ⁻¹)
Lavoura temporária	Hortaliça	3	20.146,27	4.231.154,79	4.883,38	1.007.967,18
Pequena propriedade = 13						
Lavoura permanente	Amora	10	-	-	1,15	103,18
	Uva	31	1863,01	111780,82	-	-
	Chuchu	21	-	-	624,97	134884,80
Lavoura temporária	Hortaliças	105	-	-	3.050,49	604.166,67
	Morango	10	-	-	8,03	963,03
Minifúndio = 35						
Lavoura permanente	Caqui	10	-	-	5,73	687,67
	Chuchu	21	-	-	472,84	99295,60
	TOTAL	31	-	-	478,57	99983,27
Lavoura temporária	Hortaliças	366	-	-	12.807,60	2.815.601,99
TOTAL GERAL		505	22.009,28	4.342.935,61	21.854,17	4.663.670,13

FONTE: Autor (2015)

Em termos de resíduos de uva, considerando que o município de Colombo é conhecido por ser uma região vitivinícola importante do estado do Paraná (PROTAS *et al.*, 2010), estimou-se que no município existam 31 produtores de uva, em sua maioria de pequenas propriedades, gerando cerca de 8% dos resíduos orgânicos, em sua maioria bagaços de uva (TABELA 22).

O município de Colombo é o segundo maior município produtor de hortaliças do estado (ALMEIDA, 2013), e conseqüentemente, produz uma quantidade elevada de resíduos durante e após a colheita. Além disso, de acordo com Bagherzadeh *et al.* (2014), em países em desenvolvimento mais de 40% das perdas de alimentos ocorrem em níveis pós-colheita e processamento, o que se mostra uma problemática de alta relevância durante a cadeia de produção do alimento.

¹¹ Além disso, alguns dos pequenos agricultores/minifúndios entrevistados relataram que chegam a vender parte ou toda a produção para os grandes agricultores, e estes revendem posteriormente para grandes supermercados de Curitiba e região.

Dependendo da cultura produzida, armazenamento e local onde é vendida, esta pode gerar mais ou menos resíduos e perdas pós-colheita, afetando diretamente a renda mensal dos agricultores e gerando resíduos que serão descartados desnecessariamente. Desta maneira, analisando a geração de perda pós-colheita, observa-se que todos os agricultores que produzem grandes quantidades de hortaliças, conseqüentemente tiveram uma maior contribuição na perda pós-colheita: as médias propriedades representaram 22% do total, as pequenas propriedades 17% e os minifúndios, com a maior parcela, representando 61%.

4.2 POSSÍVEIS USOS DOS RESÍDUOS DE HORTIFRUTICULTURA

Diante da elevada quantidade de resíduos de processamento e produção de novos produtos e perdas pós-colheita gerados pelos agricultores do município de Colombo, faz-se necessário o levantamento de estratégias para a minimização do desperdício de alimentos e degradação ambiental. Algumas alternativas viáveis foram encontradas para o aproveitamento destes alimentos, de acordo com a hierarquia de reaproveitamento alimentar (mencionadas na Sessão 2.3.1), que são descritas a seguir.

Redução e prevenção da perda e desperdício de alimento

Medidas para reduzir a perda de alimento e geração de resíduo dos agricultores do município de Colombo foram desenvolvidas levando em consideração a sustentabilidade local, e promovendo a segurança alimentar e nutricional da população. Algumas das ações sugeridas para a redução da geração de resíduos de processamento e produção de novos produtos, assim como perda de pós-colheita estão descritas a seguir:

- *Demanda incerta de alimento*: considerando que muitos dos agricultores do município sofrem com a demanda incerta de alimento, uma boa alternativa seria incentivar a cooperação entre agricultores para reduzir o risco do excesso de produção, permitindo que as colheitas em excesso de um agricultor possam ser compartilhadas com a escassez da colheita de outro

agricultor (STUART, 2009). Além disso, com a cooperação entre pequenos agricultores, estes podem se organizar para produzir diferentes culturas e efetuar a venda em conjunto à supermercados, restaurantes etc.

- *Padrão estético*: outro ponto importante constatado é o padrão estético estipulado pelos supermercados. Supermercados tem a ideia de que consumidores não irão comprar alimentos que estejam com um tamanho ou aparência diferentes do que estão acostumados a comprar. Entretanto, considerando que os consumidores têm o poder de influenciar os padrões de qualidade, diferentes campanhas internacionais têm mostrado que os consumidores estão dispostos a comprar produtos heterogêneos, desde que o gosto não seja afetado (STUART, 2009).

Aproveitamento alimentar

- *Banco de alimentos para doação*

Com o intuito de diminuir o desperdício de alimento dos agricultores do município, uma alternativa viável seria iniciar um projeto de facilitação de doação de alimentos, fazendo o link direto entre os agricultores e organizações sociais e comunidades carentes (STUART, 2009). O funcionamento do projeto poderia ser com a coleta de alimentos de doadores e, em seguida, distribuição entre os grupos comunitários carentes, utilizando como exemplo ações semelhantes que já existem no Brasil.

- *Programa de venda de frutas e verduras por um preço mais baixo*

Para muitos agricultores do município "eliminar é mais barata do que usar ou reutilizar os alimentos". Uma boa maneira de prevenir este desperdício seria desenvolver um local de venda de produtos de "segunda linha", ou seja, aqueles que não foram vendidos tanto pela baixa demanda, quanto pelos padrões estéticos impostos pelos supermercados, mas que ainda estão com boa qualidade e alto valor nutricional. Desta maneira, os alimentos não seriam descartados, as pessoas interessadas poderiam economizar dinheiro e os agricultores teriam uma renda extra, mesmo que baixa, com a venda destes produtos por um preço reduzido.

- ***Aproveitamento integral do alimento***

O aproveitamento integral de hortaliças e frutas (polpa, cascas, talos, sementes e folhas), na elaboração de novos produtos, é uma alternativa limpa que pode ser realizada por todos, pois pode ser elaborada tanto no ambiente industrial quanto residencial. A utilização do alimento de forma integrada e sustentável poderia auxiliar a redução da produção de lixo orgânico no município de Colombo, prolongando a vida útil dos alimentos, promovendo a segurança alimentar e beneficiando a renda familiar (SILVA *et al.*, 2009).

Os resíduos de hortifruticultura identificados no município de Colombo apresentam grande potencial de serem utilizados na elaboração de novos produtos. Os resíduos da uva (casca, bagaço e semente), assim como as sobras de morango e a amora poderiam ser utilizados em compotas, pães, bolos e barrinhas de cereal. Outros resíduos como talos de brócolis e couve-flor poderiam ser aproveitados na produção de outros pratos nutritivos.

Alimentação animal

Considerando que muitos agricultores já exercem a doação dos resíduos de processamento e produção de novos produtos e perdas pós-colheita, seria importante que estes resíduos fossem utilizados primeiramente para alimentação humana, e posteriormente para alimentação animal. Por isso, a alimentação animal entraria como uma solução para aqueles resíduos que realmente não estariam em um bom estado para consumo humano.

Compostagem

A compostagem dos resíduos de hortifruticultura tem sido muito utilizada pelos agricultores do município. Em ordem de disseminar mais esta técnica para outros agricultores, é necessário o desenvolvimento de cursos sobre a técnica da compostagem, com o objetivo de capacitar os agricultores e mostrar a importância e benefícios de utilizar adubo orgânico em suas lavouras.

Geração de energia

A atual escassez de fontes não renováveis e seus impactos ambientais negativos ao meio ambiente faz gerar cada dia mais a necessidade por novas fontes de energia, preferencialmente sustentáveis. Uma alternativa adequada para impulsionar este cenário é o uso da biomassa como fonte renovável e sustentável de energia, principalmente em pequenos municípios, como é o caso do município de Colombo. Como mostrado na sessão anterior, atualmente o município gera diariamente cerca de 44 Mg.dia^{-1} de resíduo de hortifruticultura, proveniente dos produtores rurais do município, que são em sua maioria, descartados ou doados para alimentação animal. Estes resíduos tem um alto potencial de gerar energia, trazendo benefícios tanto em nível social quanto ambiental e econômico para a população do município.

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA A PARTIR DOS RESÍDUOS DE HORTIFRUTICULTURA

Os valores encontrados para a estimativa de produção de biogás a partir dos resíduos de processamento e produção de novos produtos e perdas pós-colheita de hortifruticultura do município de Colombo foram de aproximadamente 3.200 m^3 de biogás por dia, o equivalente a um valor anual de $650.862,54 \text{ m}^3$. Já em termos energéticos, haveria um potencial de gerar cerca de 271 kW.dia^{-1} ou $55.150 \text{ kW.ano}^{-1}$, como mostra a Tabela 13.

TABELA 13 - POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA A PARTIR DA ESTIMATIVA DOS RESÍDUOS DE HORTIFRUTICULTURA GERADOS PELOS 505 AGRICULTORES DE COLOMBO¹²

Resíduo	Total resíduo gerado (Mg.dia ⁻¹)	MS	MOS	Produção de biogás		Energia produzida	
		MF	MS	m ³ /Mg MF		kW/Mg MF D	
				Fator	Resultado	Fator	Resultado
Bagaço de fruta	1,86	20,0	90	93,6	174,4	8	14,9
Resto de frutas	0,02	20	80	56,3	0,84	4,8	0,07
Resíduos vegetais	42,0	20	80	72	3.023	6,1	256,11
TOTAL	43,9	-	-	-	3.198,18	-	271,09

FONTE: Calculado a partir de dados de SEAI (2012) e resultados da estimativa

NOTA: MF = massa fresca (%)

MS = teor de matéria seca (%)

MOS = matéria orgânica seca (%)

D= dia

A literatura mostra que digestão anaeróbica de resíduos de hortifruticultura sem qualquer outro co-substrato se mostra muito desafiador, pois seu elevado teor de açúcares muitas vezes promove a acidificação rápida da biomassa com uma inibição resultante da degradação das bactérias metanogênicas. Conforme afirma Scano *et al.* (2014 p. 29), a adição de substratos adequados assegura uma melhor estabilidade do processo, mantendo praticamente constante o conteúdo dos sólidos voláteis e evitando o aumento de substâncias facilmente degradáveis.

Desta maneira, apesar de ser difícil a garantia da disponibilidade de quantidades adequadas de outros tipos de substratos para a co-digestão, recomenda-se que as propriedades agrícolas estudadas neste trabalho façam o uso de outros substratos, como esterco animal. Conforme relatado por alguns dos agricultores entrevistados, alguns deles fazem a doação dos resíduos de processamento e produção de novos produtos e perdas pós-colheita para alimentação animal, assim, poderiam fazer a coleta do esterco animal de agricultores da região para a utilização como co-substrato no próprio biodigestor.

Além disso, como afirma Sagagi e Garba (2009 p. 118), o biofertilizante produzido por hortaliças (no caso do estudo, espinafre), possui um poder de

¹² É importante ressaltar que parte significativa dos resíduos gerados já é destinada para outros usos, como a alimentação animal, alimentação humana, fertilizante orgânico, entre outros, ficando à critério do agricultor se será destinado a geração de energia.

germinação muito mais elevado (3 dias), se comparado a biofertilizantes de esterco animal (2 dias), mostrando-se mais eficiente para uso na própria lavoura.

Torna-se importante ressaltar que os resultados da quantificação do potencial energético gerado são apenas ilustrativos e servem para demonstrar a magnitude do potencial energético que determinada biomassa possui. Ou seja, para se analisar a possibilidade de uso destes potenciais seria necessário verificar várias outras questões de cunho econômico, financeiro, regulatório, logístico, técnico, entre outras, que não foram analisadas nesta pesquisa.

4.2.1 Aproveitamento do biogás gerado

Conforme os dados apresentados no item anterior, observa-se que os resíduos de processamento e produção de novos produtos e perdas pós-colheita no município de Colombo possuem um alto potencial de geração de biogás e energia, se comparado com outros substratos, como por exemplo, o esterco bovino, que é comumente utilizado para geração de biogás e possui um potencial de produção de 44 m³/Mg de substrato, enquanto que os resíduos vegetais e bagaço de fruta possuem um potencial de geração de 72 m³/Mg e 93,6 m³/Mg de substrato respectivamente (SEAI, 2012).

Além disso, do ponto de vista ambiental, a produção de biogás ainda é a melhor maneira de se destinar e tratar os resíduos sólidos orgânicos, pois segundo Bolin (2009), comparando a destinação de resíduos sólidos orgânicos para incineração e para produção de biogás, além do processo de incineração utilizar mais eletricidade, possui também um potencial de geração de energia menor do que se comparado a plantas de biogás (equivale a cerca de 40% ao de uma planta média ou grande de biogás). Além disso, quando o biogás é utilizado para eletricidade, há uma redução de 80-130 CO₂eq/Mg de resíduo, comparado ao processo de incineração e este também possui um impacto menor em termos de acidificação e eutrofização (BOLIN, 2009, p. 65).

Assim, com o intuito de analisar a viabilidade deste aproveitamento energético, primeiramente optou-se pela análise da implantação de uma usina de biogás centralizada, que faria a coleta destes resíduos para posterior geração de

energia. Entretanto, este modelo centralizado de energia apresenta inúmeros pontos negativos,

Do ponto de vista da logística, o transporte para levar os resíduos de hortifruticultura até o ponto de coleta só é viável até 2 quilômetros de distância (FUNPAR e UFPR, 2001 *apud* BLEY, 2015)¹³, e a movimentação de caminhões nas estradas rurais poderia causar transtornos para população rural local. Há também o agravante da coleta e distribuição do biofertilizante gerado, configurando-se como um indicativo fundamental para viabilidade do projeto, pois após o processo de biodigestão, o biofertilizante resultante deve ser destinado a algum local autorizado por lei.

Além disso, conforme afirma Lucio (2015), condomínios de energia apresentam melhores indicadores de viabilidade, se comparado a usinas de biogás centralizadas. E segundo um estudo do Plano Nacional de Energia de 2050 (EPE, 2015), a demanda energética nacional atual, comumente atendida pela expansão em grande escala, vem encontrando problemas em termos de investimento estadual, considerando a quantidade de recursos necessários para os projetos centralizados e da necessidade cada vez maior de um sistema energético integrado.

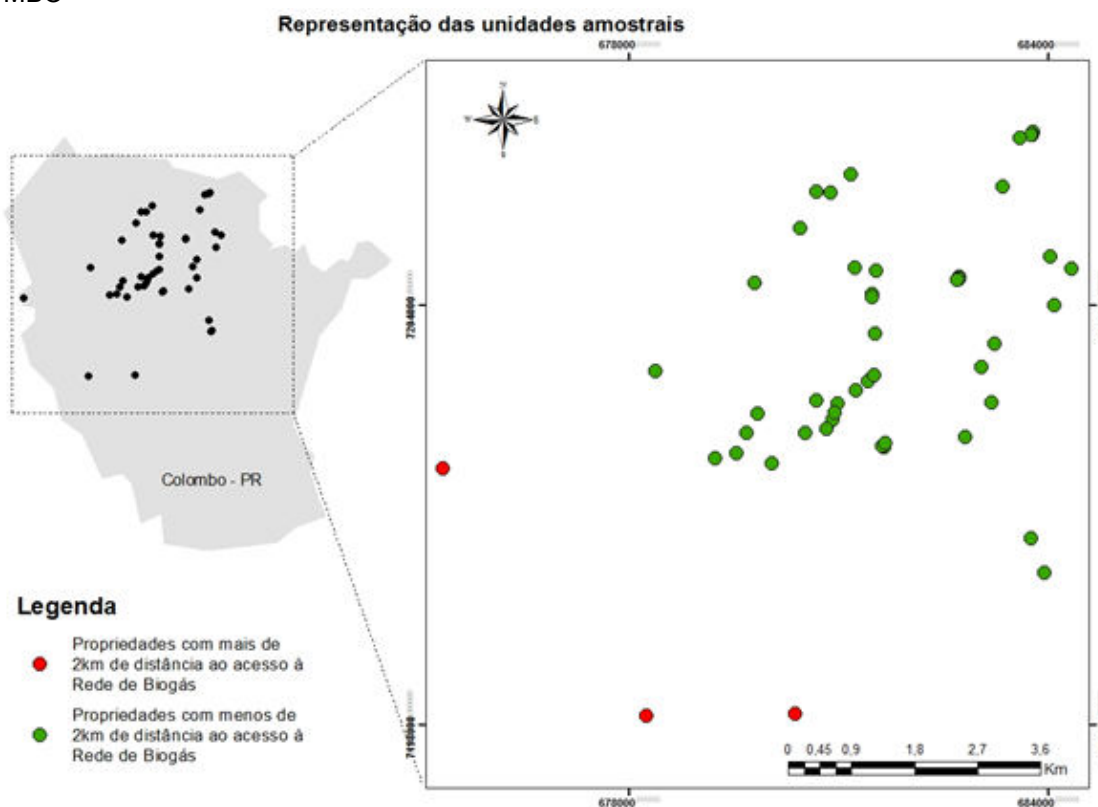
Desta maneira, optou-se por analisar a viabilidade da implantação de minigerações distribuídas de energia, com o objetivo de tornar mais viável a aplicação do projeto, com a implantação de sistemas complementares de energia e descentralizando a oferta de energia, aumentando assim os benefícios socioeconômicos aos agricultores envolvidos.

Um exemplo de um condomínio de agroenergia, contendo um biodigestor em cada propriedade e captação e transporte do biogás por gasodutos rurais é o Condomínio de Agroenergia para a Agricultura Familiar Ajuricaba, no Oeste do Paraná. Este condomínio é formado por 33 pequenos produtores conectados por um gasoduto rural de 25,5 km, que agrega o potencial de produção de biogás de cada pequena propriedade. A produção diária de biogás é de aproximadamente 660 m³/dia e é encaminhado diariamente até uma Microcentral Termoelétrica (MCT) (BLEY, 2015, p. 203).

¹³ A logística de transporte para trazer os dejetos de pontos de coleta próximos só é viável até 2 quilômetros, como demonstrado em vários estudos que constam do Manual do Programa Nacional de Meio Ambiente II, editado pela Funpar/UFPR em 2001.

Como mostra a Figura 8 observa-se que para a implantação do Cenário 2, diferentemente do Cenário 1, só seria viável do ponto de vista da logística da coleta dos resíduos e distribuição dos fertilizantes, se aplicado a algumas propriedades, neste caso mais próximas (com menos de 2 km de distância), o que totalizaria em 47 propriedades. Os agricultores que não participariam da rede de biogás seriam os agricultores 7, 45, 49 e 50 (como mostra a Figura 8, em vermelho), pois estariam localizados a mais de 2 km de distância dos outros agricultores e da rede de biogás, inviabilizando assim a logística de coleta dos resíduos.

FIGURA 8– LOCALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS NO MUNICÍPIO DE COLOMBO¹⁴



FONTE: Autor (2015)

4.2.2 Conversão energética e aplicações

O poder energético do biogás pode ser transformado de diversas maneiras, pois sua energia química pode ser convertida em energia mecânica por processos

¹⁴ Figura ilustrativa. O restante dos agricultores (505) também seriam contabilizados no raio de 2 km.

de combustão controlada, em motores estacionários que, por sua vez, movem geradores que promovem a conversão direta em energia elétrica (FNR, 2010).

Esse processo pode também ser utilizado para a cogeração de energia térmica, por meio da água quente e do vapor gerados com as altas temperaturas do motor (BLEY, 2015). Também pode servir como fonte de energia térmica em caldeiras, ou mesmo aplicado como o combustível, ou gás veicular (após purificado), em motores automotivos em ciclo Otto a gasolina e em ciclo diesel, com a mesma tecnologia disponível para conversão desses motores para funcionarem com gás natural veicular (FNR, 2010).

Analisando as possíveis utilizações do biogás gerado pelos agricultores estudados, analisaram-se os dois possíveis cenários, conforme mostra a seguir.

Cenário 1

Considerando que o Cenário 1 abrange apenas a implantação de biodigestores nas propriedades, excluindo a implantação de gasodutos para a captação e transporte do gás, este acaba se tornando mais barato, porém limita-se em sua utilização.

Uma das possibilidades de aproveitamento do biogás gerado poderia ser através de sua transformação em energia veicular, pois o metano (CH_4) componente do biogás, pelo seu alto poder combustível resultante do biogás filtrado, em termos de combustível automotivo, comporta-se como o GNV (gás natural veicular). Veículos de passeio ou de carga podem utilizá-lo quando adaptados com as mesmas tecnologias de conversão de motores a GNV (FNR, 2010).

Quando utilizado como combustível veicular é necessário realizar a purificação do biogás, retirando tanto o gás carbônico quanto o gás sulfídrico. Considerando que para cada 1 metro cúbico (1 m^3) de biogás podem ser rodados em média 12 km (BLEY, 2015), neste caso, com o total de biogás gerado de $1.935,61 \text{ m}^3/\text{dia}^{15}$ dos 51 agricultores do município de Colombo, seria possível rodar cerca de 23.227 km/dia. Esta alternativa energética pode ser aproveitada na mesma cadeia de suprimentos que será utilizada, como por exemplo como combustível do

¹⁵ Considerando a retirada de 40% da mistura de gases que compõe o biogás para a formação do biometano (gás purificado).

caminhão que fará o transporte dos alimentos produzidos pelos próprios agricultores.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016), sugere a real possibilidade da produção descentralizada de biogás como combustível veicular, aproveitando o grande potencial de biomassa residual e a flexibilidade do biogás originado com esse potencial. A competitividade do biogás em relação aos outros combustíveis líquidos, como diesel e gasolina, é avaliada pela EPE como mais vantajosa, pois estando em situação de produção descentralizada, o biogás não necessita da logística de transporte e distribuição inerente aos combustíveis convencionais¹⁶. Segundo Lucio (2015), do ponto de vista econômico há uma maior atratividade para produção de biogás veicular, se comparado a energia térmica e elétrica.

Outra alternativa seria a utilização do biogás gerado na substituição ao Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) no cozimento dos alimentos. Considerando que um botijão de gás possui em média 13 kg = 5,9 m³ (SCHUCH, 2012), com o total de biogás gerado de 1.935,61m³/dia¹⁷ dos 51 agricultores entrevistados do município de Colombo, seria possível utilizar 328 botijões de gás/dia.

Cenário 2

Energia térmica

A conversão do biogás em energia térmica pode ser feita de duas maneiras: 1) por cogeração, a partir da instalação de conversores de calor nos coletores de escape dos motores, que pode ser utilizada para preaquecimento da água da caldeira de geração de vapor; e 2) utilização direta de biogás como combustível em caldeiras ou fornos substituindo a lenha, o bagaço de cana, o diesel ou outro combustível empregado (BLEY, 2015, p 214). Entre as aplicações da energia térmica produzida com biogás estão:

- Geração de água quente e/ou vapor para aquecimento de animais;
- Resfriamento obtido por dispositivos de troca de calor;
- Para a refrigeração de produtos perecíveis;

¹⁶ Entretanto, a EPE também alerta para o fato de que, assim como no caso da geração distribuída de eletricidade, a produção de biometano também necessita que regulações sejam estabelecidas para a criação de ambiente mais adequado ao investimento.

¹⁷ 1 m³ de biogás = 0,40 kg (0,16m³) de GLP (COLDBELLA, 2008).

- Em outros processos que requerem aquecimento, podendo substituir outros combustíveis como lenha ou combustíveis fósseis utilizados em caldeiras.

Energia elétrica

Atualmente há diversas tecnologias que fazem a conversão energética do biogás¹⁸. A conversão acontece quando a energia química contida em suas moléculas é convertida em energia mecânica através de um processo de combustão controlada. Assim, a energia mecânica ativa um gerador que faz a conversão em energia elétrica, que podem ser feitas através das tecnologias de turbinas a gás e os motores de combustão interna do tipo "Ciclo - Otto" (PRATI, 2010 p. 34).

Além disso, segundo a Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), através do Sistema de Compensação de Energia Elétrica, o consumidor e neste caso produtor, tem a possibilidade de trocar a energia com a distribuidora local com objetivo de reduzir o valor da sua fatura de energia elétrica, através da instalação de pequenos geradores (tais como painéis solares fotovoltaicos e microturbinas eólicas, biodigestores, entre outros) em sua unidade consumidora¹⁹ (ANEEL, 2012).

Um metro cúbico (1 m³) de biogás é equivalente a 6,5 kWh de energia elétrica e a eficiência dos sistemas de cogeração varia entre 30 a 38%, ou seja, 1,95 a 2,47 kWh (COLDEBELLA *et al.* 2006). Considerando os 30% de eficiência, aplicados ao biogás gerado pela amostra (51 agricultores) (1.935,6 m³/dia) tem-se como resultado 3.774,4 kWh/dia de energia elétrica disponível para uso. Esta energia poderia facilmente abastecer 22 casas, com um consumo médio mensal de 166 kWh (EPE, 2015).

A aplicação de projetos de biogás se mostra uma oportunidade crescente no Brasil, considerando seu vasto potencial e os benefícios da microgeração distribuída. Desde a publicação da Resolução 482 em 2012 até outubro de 2015, já haviam sido instaladas 1.285 centrais geradoras, sendo 1.233 (96%) com a fonte solar fotovoltaica e somente 6 movidas a biogás (0,5%) (ANEEL, 2015), o que

¹⁸ Entende-se por conversão energética o processo que transforma um tipo de energia em outro.

¹⁹ É permitido o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, denominando-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (KW) e minigerção distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW (sendo 3 MW para a fonte hídrica), conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2012).

mostra que a energia de biogás ainda está em fase de crescimento, mas com grandes oportunidades de aplicação.

O biogás possui características próprias, que se assemelham à energia hidráulica no sentido de poder ser armazenado se despachado continuamente (BLEY, 2015). Diferentemente das fontes solar e eólica, que se caracterizam pela intermitência de entrada nas redes, o que se mostra ainda mais atrativo.

4.2.3 Possível investimento necessário

O biogás, como produto e como fonte renovável de energia, possui todas as características para ser explorado em sistemas cooperativos de energia. Desta maneira, a implantação de uma ou mais cooperativas no município de Colombo se mostra promissor, do ponto de vista energético. Considerando que biodigestores podem ser interligados por gasodutos, levados até uma central geradora de energia, trazendo benefícios do ponto de vista social, ambiental, econômico e social.

No Quadro 2 é possível analisar os custos necessários para a construção do Condomínio de Agroenergia para a Agricultura Familiar Ajuricaba, que foi utilizado como exemplo e embasamento teórico. Para a aplicação dos biodigestores anaeróbicos de fluxo contínuo em cada propriedade houve um investimento de R\$ 16.714,54²⁰ por propriedade. Incluindo o investimento do condomínio este valor tem um acréscimo de R\$ 3.289,28 por propriedade, e adicionando a microcentral termoelétrica há um acréscimo de mais R\$ 3.911,22, totalizando um investimento de R\$ 23.915,04 por propriedade.

Conforme afirma Lucio (2015) e Edwiges (2012), que fizeram uma análise da viabilidade do aproveitamento energético de biogás produzido de forma condominial, o *payback*²¹ descontado de projetos de biogás para geração de energia elétrica e térmica, gira em torno de 9-10 anos, o que se mostra viável do ponto de vista econômico.

²⁰ Ano de cálculo = 2013.

²¹ *Payback* é o tempo decorrido entre o investimento inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado se iguala ao valor desse investimento.

QUADRO 2 - INVESTIMENTOS NECESSÁRIOS PARA A CONSTRUÇÃO DO CONDOMÍNIO DE AGROENERGIA PARA A AGRICULTURA FAMILIAR AJURICABA

CONDOMÍNIO DE AGROENERGIA PARA A AGRICULTURA FAMILIAR AJURICABA.	
Número de propriedades =	31
Biogás gerado =	319.109 m³/ano
Biofertilizante gerado =	19.075 m³/ano
Energia gerada =	507.383 kWh/ano
Investimento propriedade =	
• Biodigestores:	R\$418.000,00
• Gasoduto e equipamentos:	R\$267.096,00
• Custo por propriedade	R\$16.714,54
Investimento condomínio =	
• Equipamentos (gasoduto principal):	R\$ 106.200,00
• Demais despesas da implantação:	R\$ 28.660,50
• Custo por propriedade	R\$3.289,28
Investimento MCT =	
• Grupo Gerador:	R\$50.000,00
• Outros custos:	R\$110.360,00
• Custo por propriedade	R\$3.911,22

FONTE: ITAIPU (2013)

Assim, utilizando como base os valores de investimento Condomínio Ajuricaba, estimou-se o investimento total necessário para os Cenários 1 e 2 (TABELA 14).

TABELA 14 – ESTIMATIVA DO INVESTIMENTO NECESSÁRIO PARA OS CENÁRIOS 1 E 2

	INVESTIMENTO PROPRIEDADE	INVESTIMENTO CONDOMÍNIO	INVESTIMENTO MCT	INVESTIMENTO TOTAL
Cenário 1	R\$ 852.441,54 ¹	-	-	R\$ 852.441,54
Cenário 2	R\$ 785.583,38 ²	R\$ 154.596,16	R\$ 160.360	R\$ 1.100.539,54

FONTE: Autor (2015).

¹Contabilizando os 51 agricultores

²Contabilizando somente 47 agricultores (considerando sua proximidade)

O Cenário 1 possui um investimento muito mais baixo que o Cenário 2 (TABELA 14), pois este não contempla a captação e transporte do biogás por

gasodutos rurais e a MCT, e prevê a utilização do biogás purificado como combustível veicular ou como GLP. Já o Cenário 2 possui um investimento mais elevado, mas possui mais benefícios para os usuários, como a utilização da energia elétrica na própria propriedade e a possibilidade de obter créditos com a geração de energia excedente.

Em relação as regulações referentes aos gasodutos rurais no Brasil, ainda não foi implementada nenhuma especificação técnica para a sua aplicação, pois o biogás e suas possibilidades de microgeração não são incluídos pelos planejadores responsáveis pela Política Nacional do Gás.

Conforme analisado por Lucio (2015), em um condomínio de agronegócios composto por 93 agricultores, a geração de energia elétrica também teve um custo mais elevado se comparado a energia térmica, entretanto o projeto se mostrou com uma maior viabilidade econômica. Além disso, é válido destacar que outro aspecto importante para a viabilidade do projeto é a não contabilização do biofertilizante, considerando o custo evitado com a compra de fertilizantes químicos pelos agricultores envolvidos.

4.2.4 Dimensionamento do biodigestor

O dimensionamento do biodigestor compreende o cálculo de alguns parâmetros como volume dos tanques de alimentação, digestores, tanques de descarga e armazenamento entre outros. Na Tabela 15 é possível identificar alguns dos parâmetros²² utilizados para o dimensionamento do volume útil do biodigestor, com suas respectivas equações exibidas de acordo com sua utilização.

Para o cálculo demonstrativo, optou-se por utilizar uma propriedade (Agricultor 4) como modelo, exemplificando assim os parâmetros e cálculos utilizados. Com uma produção de 146,3 kg.dia⁻¹ de resíduos de processamento e produção de novos produtos e 216,7 kg.dia⁻¹ de perdas pós-colheita, os parâmetros identificados estão descritos na Tabela 15.

²² Os parâmetros utilizados foram meramente ilustrativos, a fim de analisar quais os principais indicadores para o desenvolvimento de uma planta de biogás. Para a aplicação de um projeto real, seria necessária uma análise mais profunda de outros parâmetros não analisados neste trabalho.

TABELA 15 - RESUMO DOS PARÂMETROS AVALIADOS

Ordem de utilização no cálculo	Equação	Descrição da equação	Resultado
1 ^a	$MS_T = Q * MS$	Massa Seca (m^3)	0,09
2 ^a	$Vm = Q_{afiuente} - Q$	Volume de água para mistura (m^3)	0,45
3 ^a	$Q_{afiuente} = MS/D$	Volume água + biomassa (m^3)	0,9
4 ^a	$Vd = Q_{afiuente} * TRH$	Volume útil do biodigestor (m^3)	27,23
5 ^a	$COV = MV / Vd$	Carga orgânica volumétrica ($kg MOS m^3 d^{-1}$)	2,13
6 ^a	$MV = Q * MS * MOS$	Massa volátil (m^3)	0,072

FONTE: Autor (2015)

No Brasil, assim como em muitas outras regiões de clima tropical, devido aos aspectos de temperatura e biodiversidade, a utilização de biodigestores se mostra mais atrativo, pois apresenta resultados melhores e com menos emprego de serviços tecnológicos como aquecimento e agitação mecânica. Desta maneira, considerando esses fatores e a flexibilidade do uso e de armazenamento do biogás, a disseminação de projetos de biogás no mercado de energia no Brasil se mostra muito promissor (BLEY 2015).

Segundo FNR (2010) a maioria das usinas de biogás agrícolas adotam a digestão úmida, realizada nos típicos reservatórios circulares. Conforme afirma Sitorus *et al.* (2013 p. 177), sistemas de biodigestores contínuos de um estágio são comumente preferidos para a digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos, pois todas as reações acontecem simultaneamente dentro do reator. Desta maneira, sugere-se por aplicar a digestão úmida e utilizar o biodigestor modelo de fluxo contínuo de uma fase para ser utilizado nas propriedades agrícolas estudadas.

Além disso, cerca de 90% das plantas em escala real, atualmente em operação na Europa para a digestão anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos trabalham com sistemas de uma fase contínua, pois seu design é

mais simples e o custo de investimento é inferior aos outros tipos de biodigestores (ALONSO *et al.*, 2011).

É válido ressaltar, que assim como já mencionado, para potencializar a viabilidade do projeto, se faz necessário a adição de co-substratos para uma digestão mais eficaz.

4.2.5 Aproveitamento integrado de alimento e energia

Segundo WOLSINK (2010), para tornar mais eficiente o sistema alimentar e agrícola, gerando assim uma menor quantidade de resíduos e conseqüentemente um menor impacto ambiental, uma ação adequada seria a reutilização dos alimentos próprios para consumo que seriam descartados. Assim, considerando que o município de Colombo gera quantidades significativas de perda pós-colheita diariamente, e considerando que grande parte destes alimentos poderiam ser aproveitados para consumo humano, uma alternativa viável seria a coleta destes alimentos próprios para consumo para futura venda/doação, concomitantemente com a utilização dos resíduos agrícolas e alimentos não próprios para consumo e geração de biogás.

Para a aplicação deste sistema eficiente, seria necessário realizar um estudo mais detalhado da logística de coleta destes alimentos próprios para consumo, e posterior destinação.

4.2.6 Oportunidades de redução de emissão de gases de efeito estufa

O Brasil estabeleceu o compromisso voluntário de redução de emissão de gases de efeito estufa em 37% de suas emissões até 2025 (ano base 2005) (UNFCCC, 2015), e um dos projetos para mitigar essas emissões é o Plano de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC), que aponta para um potencial de redução de emissão entre 133,9 a 162,9 Mg CO₂eq (MAPA, 2012), se adotadas todas as premissas estipuladas.

O Plano ABC é um dos planos setoriais elaborados de acordo com o artigo 3º do Decreto nº 7.390/2010 (BRASIL, 2010) e tem por finalidade a organização e o

planejamento das ações a serem realizadas para a adoção das tecnologias de produção sustentáveis, selecionadas com o objetivo de responder aos compromissos de redução de emissão de GEE no setor agropecuário assumidos pelo país.

Dentre as premissas do Plano ABC, há o incentivo a tecnologias de baixo carbono na agricultura, e uma das ações previstas para a mitigação das mudanças climáticas previstas até 2020 é a elaboração de propostas para planos de desoneração fiscal e outros incentivos elaborados para indústrias que tenham relação com setor de biogás e geração de fertilizantes orgânicos (MAPA, 2012, p. 22). Em termos de ações de monitoramento, esta proposta incentiva a elaboração de estudos técnicos microrregionais para quantificar e qualificar os projetos de biogás (MAPA, 2012). Desta maneira, tecnologias de biogás apresentam uma opção real para a mitigação destas emissões, em que linhas de financiamento são disponibilizadas por bancos públicos e privados.

Além disso, os resultados positivos gerados a partir de redes de distribuição de biogás através da geração de energia elétrica, térmica, automotiva etc. são inúmeros. Uma das formas de se gerar capital com o projeto é através da venda créditos de carbono com mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL), que pode ser feita através de títulos, ou Certificados de Emissões Reduzidas (CERs). Um CER corresponde a 1 tonelada equivalente de dióxido de carbono e vale em média no mercado internacional cerca de 0,45 centavos por crédito²³.

A principal metodologia aprovada pela ONU para aplicação de projetos de MDL para gestão de resíduos sólidos orgânicos é a AM0025 (UNFCCC, 2008), que fornece as diretrizes para projetos em que resíduos orgânicos originalmente destinados para aterros sanitários são tratados através de compostagem, digestão anaeróbia, gasificação e combustível derivado de rejeito (RDF, de *Refused Derived Fuel*) (UNFCCC, 2008). No mundo existem cerca de 66 projetos aprovados com esta metodologia, sendo um deles do Brasil (*Barueri Energy CDM Project Activity*), com o aproveitamento de biogás em aterro sanitário (UNFCCC, 2012a).

Para o aproveitamento de resíduos orgânicos para geração de biogás através de biodigestores anaeróbicos, somente um projeto foi encontrado em Moldova, com a utilização de resíduos da beterraba para geração de biogás em

²³ 16 de Maio de 2016. *Certified Emission Reduction Futures* (EEX, 2016).

biodigestores anaeróbicos, para posterior aproveitamento energético (UNFCCC, 2012b), entretanto outros projetos com a utilização de resíduos sólidos orgânicos municipais também já foram aprovados, como é o caso de um projeto na cidade de Jiaonan - China, que destina seus resíduos orgânicos municipais para uma planta de biogás anaeróbica, para posterior uso energético. Esta planta recebe um total de 660 Mg.dia^{-1} e possui uma potência instalada de 6,24MW (UNFCCC, 2012c).

Além disso, após a adoção do Acordo de Paris (UNFCCC, 2015), o Brasil, juntamente com outros 174 países se comprometeram a cumprir metas de redução de emissão, que agora passam a ter, além do monitoramento e relatório, também a verificação do cumprimento das emissões (MRV, ou em inglês *Monitoring Reporting Verification*). Apesar das metas não serem legalmente vinculadas, estas devem ser atualizadas a cada 5 anos, o que fortalece ainda mais a necessidade da adoção de fontes renováveis.

5 CONCLUSÕES

Para a quantificação dos resíduos de hortifruticultura produzida no município de Colombo, o resultado da amostra foi de uma geração de resíduos de processamento e produção de novos produtos entre $27,4 \text{ kg.dia}^{-1}$ a $10.000 \text{ kg.dia}^{-1}$ e perdas pós-colheita entre 10-20% na maioria dos casos (chegando até a 50%), onde todos os entrevistados que geram a maior parcela dos resíduos de processamento e produção de novos produtos são médios agricultores, pois a maioria deles faz o processamento ou embalagem do alimento para posterior venda. As estimativas da geração de resíduos provenientes dos 505 agricultores do município de Colombo totalizaram 43 Mg.dia^{-1} .

Alguns dos fatores que influenciam a geração de resíduos de processamento e produção de novos produtos e perdas pós-colheita dos agricultores do município de Colombo estão relacionados à demanda incerta de alimentos, o local de venda destes produtos (levando em consideração que mais de 41% dos agricultores vende para o CEASA), e a falta de alternativas viáveis para a venda ou doação das sobras de colheitas de hortifruticultura.

Existem algumas maneiras de se reaproveitar os resíduos de hortifruticultura e ao mesmo tempo trazer benefícios socioeconômicos e ambientais a comunidade envolvida. Considerando que as propriedades chamadas de “minifúndios” são a que tem uma maior representatividade não só no município de Colombo, mas também no Brasil, e tem uma forte influência na economia do país, é de suma importância que estes sejam incentivados e desenvolvidos. Para um desenvolvimento sustentável integrado, uma das formas é através da geração de biogás a partir dos resíduos de processamento e produção de novos produtos e perdas de pós-colheita da hortifruticultura, como mostrado neste trabalho.

Assim, conclui-se que há vários resultados positivos que a economia do biogás pode gerar, podendo ser considerados diretos com a geração de energia elétrica, térmica, automotiva, aplicadas tanto para o autoconsumo quanto para venda de excedentes; e indiretos, como a redução de emissões de gases do efeito estufa; a adequação ambiental da atividade pela redução de cargas orgânicas poluentes e eficiência energética.

Se todos estes resíduos fossem utilizados para geração de biogás, haveria um potencial de gerar cerca de 3.200 m^3 de biogás por dia, o equivalente a um valor

anual de 650.862,54 m³. Apesar da dificuldade em se implantar sistemas de digestão anaeróbica somente com resíduos de hortifruticultura, e da necessidade de utilizar outros substratos para a co-digestão dentro do sistema, observa-se um grande potencial em sua utilização, se comparado com outros substratos.

Em termos energéticos, este biogás gerado poderia representar um potencial energético instalado de até 271,09 kW.dia⁻¹ ou 55.150,4 kW.ano⁻¹. Assim, observa-se que o aproveitamento do biogás gerado para fins energéticos (Cenário 2), apesar de ter um investimento inicial mais elevado, comparado ao Cenário 1, pode trazer inúmeros benefícios ao município e agricultores envolvidos, entre eles: a economia com substituição de fertilizantes químicos por biofertilizantes, economia na conta de energia, possibilidade de venda de crédito de carbono, geração de créditos com o excedente de energia, além de outros benefícios qualitativos, relacionados aos aspectos sociais e ambientais.

Considerando que a agricultura familiar tem uma grande participação no PIB Nacional, fica evidente que a produção da agricultura e, portanto, da economia do país, crescerá de forma acelerada e esse crescimento esperado terá um relevante papel no aumento da demanda de energia, dado a vital importância desse insumo para o desenvolvimento de suas atividades produtivas. Assim, observa-se que mesmo com uma produção a nível familiar, é possível gerar quantidades significativas de biogás, este podendo ser utilizado como eletricidade na própria produção dos alimentos.

Embora mais estudos sejam necessários para melhorar a análise da viabilidade técnica e econômica de projetos de biogás, a energia renovável produzida a partir do processo de digestão anaeróbia pode ser visto como uma oportunidade para muitas comunidades rurais iniciarem a transformação de recursos em oportunidade de desenvolvimento.

6 RECOMENDAÇÕES

6.1 ANÁLISE DA VIABILIDADE FINANCEIRA DO PROJETO

É recomendável a realização de análise futura acurada da viabilidade econômica da implantação dos cenários de implantação de tecnologia para recuperação do biogás.

O investimento inicial para uma unidade de biogás é geralmente muito elevado e pode exigir aplicação de instrumentos de financiamento. A seguinte lista inclui os investimentos e os custos de uma planta típica agricultura biogás, que devem ser considerados na avaliação econômica:

- Custos de planejamento: custos de engenharia, custos de licenças, impostos e certificados;
- Custos com equipamentos (custos de investimento): equipamento técnico, edifícios, instalações de armazenamento, infraestrutura e ligação à rede;
- Custos com matéria-prima;
- Operação e manutenção: custos de pessoal, peças, reparação e material, gerenciamento de biodigestores;
- Custos de financiamento: juros e taxas.

A lista a seguir descreve as receitas de projetos de biogás:

- Economia ou venda da eletricidade/calor;
- Subsídios públicos;
- Certificados verdes;
- Venda do adubo orgânico.

REFERÊNCIAS

- ABBASI T. et al., **Biogas Energy, Chapter 2 - A Brief History of Anaerobic Digestion and “Biogas”**. SpringerBriefs in Environmental Science 2, TasneemAbbasi, 2012.
- ABRACEN - Associação Brasileira das Centrais de Abastecimento. **Manual Operacional das CEASAS do Brasil**. Brasília, Brasil. AD2 Editora, 2011.
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e **Resíduos Especiais Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**, 2012.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **RN 482**: Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, 2012.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **RN 390**: Estabelece os requisitos necessários à outorga de autorização para exploração e alteração da capacidade instalada de usinas termelétricas e de outras fontes alternativas de energia, os procedimentos para registro de centrais geradoras com capacidade instalada reduzida e dá outras providências. Brasília, 2009
- ALMEIDA, N. Produtores de hortigranjeiros aprendem a lidar com o frio. **Tribuna Paraná online**, Paraná. 15 Julho, 2012. Disponível em: <<http://www.parana-online.com.br/editoria/economia/news/468786/?noticia=PRODUTORES+DE+HORTI+GRANJEIROS+APRENDEM+A+LIDAR+COM+O+FRIQ>> Acesso em: 05/11/2015.
- ALONSO, C. V.; LAHOZ, C.; HERRUZO, G. e MAROTO, R. M. **Producción de biogás a partir de residuos vegetales (II) Biorreactores anaeróbicos**. Valorización de Residuos. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Málaga, 2011
- AMORIM, E. S. **Particularidades da Contabilidade Rural**. Egresso do Curso de Ciências Contábeis das Faculdades Integradas ICE, 2011.
- ANDRÉ, A. I. N. F. **Sazonalidade e Alimentação Influência da Sazonalidade nos Hábitos Alimentares**. Faculdade de Ciências da Nutrição da Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004**: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- BAGHERZADEH, M., M. e JEONG, H. **Food Waste Along the Food Chain**. OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, 2014.No. 71, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/5jxrcmftzj36-en>
- BLEY, J. C. **Biogás: A Energia Invisível**. Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás (CIBiogás-ER). ATOL Studio: 2ª Edição revista e ampliada. ITAIPU Binacional. Foz do Iguaçu, 2015.
- BOLIN, L. **Environmental impact assessment of energy recovery from food waste in Singapore - Comparing biogas production to incineration**. Swedish

University of Agricultural Sciences Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Department of Energy and Technology. Sweden, 2009. Disponível em <http://stud.epsilon.slu.se/1519/1/bolin_l_100701.pdf>

BRASIL. Decreto nº 7.390, 9 de dezembro de 2010. Regulamenta os arts. 6o, 11 e 12 da Lei no 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2010.

BRASIL. Decreto nº 5.163, de 30 de Julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2004.

BRASIL. Lei nº 10.438 de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) e Conta de Desenvolvimento Energético (CDE). **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 2002.

BRASIL. Lei nº 8.629, de 25 de Fevereiro de 1993. Dispõe sobre a regulamentação dos dispositivos constitucionais relativos à reforma agrária, previstos no Capítulo III, Título VII, da Constituição Federal. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 1993.

CEAGESP. **Sazonalidade dos produtos comercializados no ETSP**. Seção de Economia e Desenvolvimento da CEAGESP. São Paulo, SP, 2015. Disponível em <http://www.ceagesp.gov.br/wp-content/uploads/2015/05/produtos_epoca.pdf>

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA). **PIB do Agronegócio – Dados 1995 a 2015**. PIB Agro CEPEA-USP/CNA, 2015. Disponível em <http://cepea.esalq.usp.br/pib/>

COLDEBELLA, Anderson; SOUZA, Samuel N. M.; FERRI, Priscila; KOLLING, Evandro M. **Viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura**. Informe Gepec, v. 12, n. 2, Jul./Dez. 2008

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Diagnóstico dos mercados atacadistas de hortigranjeiros**. Brasília, DF, 2009.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (COPEL). **Consumo de energia elétrica do município de Colombo de 2000 – 2013**. Curitiba, Paraná, 2013.

EDWIGES, T. **Avaliação do potencial de aproveitamento térmico do metano a partir de dejetos suínos na microbacia hidrográfica do Rio Marreco, oeste do Paraná**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Compostagem de Resíduos para Produção de Adubo Orgânico na Pequena Propriedade**. Circular Técnica 59. ISSN 1678-1945. Aracaju, SE, 2009.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro, 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. Rio de Janeiro, fevereiro, 2015. Ano VIII. Número 89, 2015. Disponível em <http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal/Resenha%20Mensal%20do%20Mercado%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20-%20Janeiro%202015.pdf>

EUROPEAN BIOMASS ASSOCIATION (AEBIOM). **A Biogas Road Map for Europe**. Brussels, Belgium, 2010.

EUROPEAN ENERGY EXCHANGE (EEX). **Certified Emission Reduction Futures, Global Environmental Exchange**. Leipzig, Germany, 2016. Disponível em: <https://www.eex.com/en/market-data/emission-allowances/derivatives-market/certified-emission-reductions-futures#!/2016/05/17> Acessado em: 16 de Maio de 2016.

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR). **Guia prático de Biogás**. Projeto Brasil Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético do Biogás (PROBIOGÁS). 5ª edição. Gülzow, 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention**. Rome, Italy, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Impacts of Bioenergy on Food Security: Guidance for Assessment and Response at National and Project Levels**. Environment and natural resourceS management workilng paper. Environment, climate change and energy monitoring and assessment. Rome, Italy, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Food wastage footprint: Impacts on Natural Resources**. The Natural Resources Management and Environment Department – FAO. France, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). **Estimativas populacionais para os municípios brasileiros**, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). **Produção Agrícola Municipal**, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). **Produto interno bruto dos municípios – Colombo**, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). **Censo demográfico**, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). **Índice de desenvolvimento humano municipal – idhm** – Colombo, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). **Censo agropecuário**, 2006.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Task 37: Energy from Biogas - Country Overview (Country Reports)**. IEA – Bioenergy. January, 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Technology Roadmap: Bioenergy for Heat and Power**. OECD/IEA. Paris, France, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Sistema Nacional de Cadastro Rural - índices básicos de 2013**. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/sites/default/files/uploads/estrutura-fundiaria/regularizacao-fundiaria/indices-cadastrais/indices_basicos_2013_por_municipio.pdf> Acessado em: 14 de Maio de 2016.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Caderno Estatístico do Município de Colombo**, Março de 2015.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas**. Relatório de Pesquisa. Brasília, DF, 2012.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **The Socio-economic Benefits of Solar and Wind Energy**. Clean Energy Ministerial. Econ Value. Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2014.

ITAIPU. **Condomínio De Agroenergia Para Agricultura Familiar**. Estudo de Viabilidade Econômica e Financeira, 2013.

ITAIPU. **Reflexões sobre a economia do biogás**. Assessoria de Energias Renováveis ITAIPU Binacional. Foz do Iguaçu, Novembro, 2010.

KARLSSON, A.; BJÖRN, A.; YEKTA, S. S. e SVENSSON B. H. **Improvement of the biogas production process**. Explorative project (EP1), Biogas Research Center (BRC). Linköping University. Linköping, Sweden, 2014.

KHANAL, S. **Anaerobic biotechnology for bioenergy production: principles and applications**. Wiley-Blackwell, Ames, 2008.

LIPINSKI, B. **Reducing Food Loss and Waste**. Working Paper, Installment 2 of Creating a Sustainable Food Future. Washington, DC: World Resources Institute, 2013. Disponível em: <<http://www.worldresourcesreport.org>>

LUCIO, L. T. **Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica para o Aproveitamento Energético do Biogás no município de Entre Rios do Oeste (PR) – Produção Descentralizada versus Produção Centralizada de Biogás**. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, março de 2015.

LUOSTARINEN, S., NORMAK, A. & EDSTRÖM, M. **Overview of Biogas Technology**. Knowledge report. Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management, 2011.

MATOS, A. T. **Tratamento de resíduos agroindustriais**, 2005.

METCALF e EDDY. **Wastewater Engineering: treatment disposal reuse**. McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering. George Tchobanoglous, 1979.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura.** Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Departamento de Sistemas de Produção e Sustentabilidade – DEPROS. Brasília, DF, 2012.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil.** 2a Edição. Brasília – DF, 2014. Disponível em http://www.mct.gov.br/upd_blob/0235/235580.pdf

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). **Protocolo de Quioto.** 1997. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/4006.html>.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL E COMBATE À FOME (MDS). Roteiro de Implantação para Bancos de Alimentos, 2007. Disponível em: <http://www.mds.gov.br/segurancaalimentar/equipamentos/bancosdealimentos/arquivos/roteiro-de-implantacao-bancos-de-alimentos-versao-para-impressao.pdf/download>

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Mecanismo de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos: Conceito, planejamento e oportunidades.** Brasília, DF, 2007.

NATIONAL CENTRE FOR BIORENEWABLE ENERGY (NNFCC). **Farm-Scale Anaerobic Digestion Plant Efficiency.** Fuels and Materials. Biocentre, York Science Park, Innovation Way, Heslington. United Kingdom, 2011.

PARFITT, J., BARTHEL, M. & MACNAUGHTON, S. **Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050.** Philosophical Transactions of the Royal Society of London - Series B: Biological Sciences, 2010. Phil. Trans. R. Soc. B (2010) 365, p. 3065–3081, London, UK, 2010.

PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E. **Avaliação da Viabilidade do Uso de Resíduos na Agricultura.** Circular Técnica 19, v. 14, n.4. Rio de Janeiro, 2009.

PRATI, L. **Geração De Energia Elétrica A Partir Do Biogás Gerado Por Biodigestores.** 83 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal Do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em <http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/148.pdf>

RIOS, C. Potencialidades Paraná: Frutas e verduras rendem R\$ 1 bilhão. **Gazeta do Povo,** Curitiba. 28 de Janeiro de 2012. Disponível em: <http://www.gazetadopovo.com.br/economia/especiais/potencialidades-parana/frutas-e-verduras-rendem-r-1-bilhao-7c71goz3m3tr799rq2npp1sge>
Acessado em 11/11/2015.

ROCHA, S. A. **Fibras e lipídios em alimentos vegetais oriundos do cultivo orgânico e convencional.** Revista Simbio Logias, v.1, n.2, p. 1-9, 2008. Disponível em: ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Educacao/Simbio-Logias/ARTIGO_NUTR_fibras_lipidios_alimentos_vegetais_oriundos.pdf.

ROMERO, G. M. **Dimensionamento y Diseño e Construccion de Biodigestores y Plantas de Biogás**. Aqualimpia. Uelzen, Germany, 2013.

SAGAGI, B. S.; GARBA B. e USMAN, N. S. Studies on biogas production from fruits and vegetable waste. **Bayero Journal of Pure and Applied Sciences**. Wudil, Volume 2 Number 1. p. 115 – 118, Fevereiro, 2009.

SCANO, E. A.; ASQUER, A.; PISTIS A.; ORTU, L.; DEMONTIS, V.; COCCO, D. Biogas from anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes: Experimental results on pilot-scale and preliminary performance evaluation of a full-scale power plant. **Elsevier, Energy Conversion and Management** 77, p. 22–30, Setembro, 2013. Disponível em <[https://ttg.lipi.go.id/inovasi/Biogas%20from%20anaerobic%20digestion%20\(LP4\).pdf](https://ttg.lipi.go.id/inovasi/Biogas%20from%20anaerobic%20digestion%20(LP4).pdf)>

SCHUCH, S. L. **Condomínio De Agroenergia: Potencial de Disseminação na Atividade Agropecuária**. 51 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura), Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Cascavel, 2012. Disponível em <http://www4.unioeste.br/portaupos/media/File/energia_agricultura/pdf/Dissertacao_Sergio_Schuch.pdf>

SEADI A. T.; RUTZ D.; PRASSL H.; KÖTTNER M.; FINSTERWALDER T.; VOLK S. e JANSSEN R. **Biogas Handbook**. University of Southern Denmark Esbjerg, NielsBohrsvej 9-10. Esbjerg, Dinamarca, 2008.

SUSTAINABLE ENERGY AUTHORITY OF IRELAND (SEAI). **Gas Yields Table**. Irlanda, 2012. Disponível em <http://www.seai.ie/Renewables/Bioenergy/Bioenergy_Technologies/Anaerobic_Digestion/The_Process_and_Techniques_of_Anaerobic_Digestion/Gas_Yields_Table.pdf>

SITORUS B.; SUKANDAR e PANJAITANC, S. D. Biogas recovery from anaerobic digestion process of mixed fruit -vegetable wastes. **Elsevier, Energy Procedia** 32. International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application [ICSEEA 2012], p. 176-182, 2013. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610213000258>>

SOUZA, P. D. J. Análise sensorial e nutricional de torta salgada elaborada através do aproveitamento alternativo de talos e cascas de hortaliças. **Alimentação e Nutrição**, v.18, n.1, p.55- 60, 2007.

STUART T. **Waste, uncovering the global food scandal**. London, UK, 2009.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (UFPR). **Manual de normalização de documentos científicos de acordo com as normas da ABNT**. 327 f. Sistema de Bibliotecas da UFPR. Curitiba, 2015.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Approved baseline and monitoring methodology AM0025 “Alternative waste treatment processes”**. CDM – Executive Board. AM0025 / Version 14.0.0 Sectoral scopes: 01 and 13 EB 68, 2008. Disponível em <<https://cdm.unfccc.int/filestorage/w/a/D3ILGQEHVNMV1K6J0ZUFP9CA4BOXT.p>>

[df/EB%2068_repan08_AM0025_ver14.0.0.pdf?t=a0N8bzd6czl3fDCdxampKTFGiGuN9MBbpePx>](https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf)

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Adoption of the Paris Agreement**. Proposal by the President Draft decision -/CP.21. Conference of the Parties Twenty-first session Paris, 30 November to 11 December 2015. Disponível em <<https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>>

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Barueri Energy CDM Project Activity**. Clean development mechanism project design document form (CDM PDD) - Version 03, 2012a. Disponível em <https://cdm.unfccc.int/filestorage/x/5/T6O28Q49G7BH1YR0UMW3SKPZ5JLXIA.pdf/PDD_v6_Barueri.pdf?t=WnJ8bzgxbDJ2fDBGexV1PEUH-T-WmmrK-_DE>

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Biogas production from sugar beet press pulp Sdzucker Moldova sugar plant**. Clean development mechanism project design document form (CDM PDD) - Version 03, 2012b. Disponível em <https://cdm.unfccc.int/filestorage/w/y/BNSZ0D9TIGREM38ULO7Y24C5V6JKHF.pdf/5842_PDD_revised_clean.pdf?t=b1I8bzgwbzQyfDAg bjWonGh5VQR9OxIoDOwG>

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Municipal Solid Waste Anaerobic Digestion with Gas Collection and Power Generation Project in Jiaonan City, P.R. China**. Clean development mechanism project design document form (CDM PDD) - Version 03, 2012c. Disponível em <https://cdm.unfccc.int/filestorage/B/P/1/BP14KU23H0X8A7D9L5FYEOIRWMTVCS/PDD_MS%20%20in%20Jiaonan.pdf?t=SFB8bzgxa284fDBEq9BTImEDUbh4zsJ4qkFM>

VELMURUGAN, B. e RAMANUJAM, R. A. Anaerobic Digestion of Vegetable Wastes for Biogas Production in a Fed-Batch Reactor. **International Journal of Emerging Sciences**, 1(3), p. 478-486. Setembro, 2011.

WANG G. **Biogas Production from Energy Crops and Agriculture Residues**. Risø National Laboratory for Sustainable Energy, Technical University of Denmark, 2010.

WINKWORTH, S.; FOSTER T. J. e MORGAN, W. **The impact of reducing food loss in the global cold chain**. University of Nottingham, 2015. Disponível em <http://naturalleader.com/wp-content/uploads/2016/04/UTC-Nottingham-Report_3-30_FINAL.pdf>

WORLD BIOENERGY ASSOCIATION (WBA). **Biogas – An important renewable energy source**. WBA factsheet. Stockholm, Sweden, 2013.

WOLSINK, M. Contested environmental policy infrastructure: socio-political acceptance of renewable energy, water and waste facilities. **Elsevier, Environmental Impact Assessment Review**, Volume 30, Issue 5, p 302–311 2010. September 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195925510000156>>

APÊNDICES

APÊNDICE I - QUESTIONÁRIO DAS ENTREVISTAS REALIZADAS COM OS AGRICULTORES DO MUNICÍPIO DE COLOMBO

- 1) Qual é o seu nome?
- 2) Qual é o número de integrantes de sua família?
- 3) Qual é o tamanho de sua propriedade?
- 4) Qual é o tamanho de área plantada da propriedade?
- 5) Quantas pessoas trabalham na colheita?
- 6) Quais culturas são cultivadas? Em que época do ano eles são produzidas? Quanto tempo leva o crescimento de cada um das culturas?
- 7) Qual é a quantidade de cada cultura produzidas por mês?
- 8) Você sabe qual é a quantidade de restos de verduras/frutas/legumes gerados ($\text{kg} \cdot \text{dia}^{-1}$)?
- 9) Você sabe qual é a quantidade de resíduos agrícolas gerados ($\text{kg} \cdot \text{dia}^{-1}$)?
- 10) Você produz gado/suíno/galinha? Se sim, quantas cabeças?
- 11) Qual é a destinação dos resíduos agrícolas e restos de verduras/frutas/legumes gerados?
- 12) Qual é a distância de sua propriedade até o centro?
- 13) Você aceitaria dar outra destinação a seus resíduos (sem custo adicional)?

APÊNDICE II – RESULTADO AMOSTRA: GERAÇÃO DE RESÍDUO E PERDA PÓS-COLHEITA

Classificação da propriedade	Agricultor	Resíduo gerado		Perda pós-colheita		Permanente	Temporária
		Kg.dia ⁻¹	Kg.ano ⁻¹	Kg.dia ⁻¹	Kg.ano ⁻¹		
MÉDIA PROPRIEDADE (até 150ha)	Agricultor 4	146,27	31.154,79	216,71	47967,18	-	Hortaliça
	Agricultor 6	10.000,00	2.100.000,00	2.000,00	420.000,00	-	Hortaliça
	Agricultor 5	10.000,00	2.100.000,00	2.666,67	540.000,00	Hortaliça	
PEQUENA PROPRIEDADE (até 40ha)	Agricultor 9	-		1,64	286,03	Amora	Morango + hortaliça
	Agricultor 3	41,10	2465,75	-	-	Uva	-
	Agricultor 7	109,59	6575,34	-	-	Uva	-
	Agricultor 8	27,40	1.643,84	-	-	Uva	
	Agricultor 13	-		18,57	4.242,86	Chuchu	Hortaliça
	Agricultor 14	-		3,43	720,00	-	Hortaliça
	Agricultor 17	-		41,17	8.650,54	Chuchu	Hortaliça
	Agricultor 2	-		21,14	4.714,30	-	Hortaliça
	Agricultor 21			44,21	10.078,76		
	Agricultor 23	-		61,91	11.143,29	-	Hortaliça
	Agricultor 1	-		41,09	8.952,48	-	Hortaliça
	Agricultor 30	-		25,76	5.194,63	-	Hortaliça
Agricultor 34	-		93,29	16.763,66	-	Hortaliça	
MINIFÚNDIOS (até 10ha)	Agricultor 10	-		25,56	6.038,68	-	Hortaliça
	Agricultor 12	-		45,00	9.450,00	-	Hortaliça
	Agricultor 15	-		58,88	13.097,75	-	Hortaliça
	Agricultor 16	-		19,63	5.288,00	Chuchu	Hortaliça
	Agricultor 18	-		140,57	28.628,57	Chuchu	Hortaliça
	Agricultor 19	-		81,27	15.432,03	-	Hortaliça
	Agricultor 22	-		15,34	2.794,52	-	Hortaliça
	Agricultor 20			61,44	16.547,98		
	Agricultor 24	-		16,47	3.638,38	-	Hortaliça
	Agricultor 25	-		63,00	13.230,00	-	Hortaliça
	Agricultor 26	-		180,00	40.500,00	-	Hortaliça
	Agricultor 27	-		100,00	27.000,00	-	Hortaliça

Classificação da propriedade	Agricultor	Resíduo gerado		Perda pós-colheita		Permanente	Temporária
		Kg.dia ⁻¹	Kg.ano ⁻¹	Kg.dia ⁻¹	Kg.ano ⁻¹		
MINIFÚNDIOS (até 10ha)	Agricultor 28	-		0,41	92,47	-	Hortaliça
	Agricultor 29	-		41,06	7.610,66	-	Hortaliça
	Agricultor 30			23,05	4.790,75	-	Hortaliça
	Agricultor 31	-		126,36	27.507,86	-	Hortaliça
	Agricultor 32	-		29,80	5.984,34	-	Hortaliça
	Agricultor 33	-		11,11	2.078,14	-	Hortaliça
	Agricultor 35	-		15,20	3.515,76	-	Hortaliça
	Agricultor 36	-		11,43	2.234,67	-	Hortaliça
	Agricultor 37	-		64,00	12.276,00	-	Hortaliça
	Agricultor 38	-		5,69	1.028,06	-	Hortaliça
	Agricultor 39	-		18,49	3.811,27	-	Hortaliça
	Agricultor 40	-		12,35	2.907,26	-	Hortaliça
	Agricultor 41	-		5,55	1.350,15	-	Hortaliça
	Agricultor 42	-		11,68	2.746,40	-	Hortaliça
	Agricultor 43	-		7,42	1.755,26	-	Hortaliça
	Agricultor 44	-		4,01	1.077,43	-	Hortaliça
	Agricultor 45	-		12,20	2.228,91	-	Hortaliça
	Agricultor 46	-		5,50	990,51	-	Hortaliça
	Agricultor 47	-		37,46	8.990,44	-	Hortaliça
	Agricultor 48	-		7,74	1.443,86	-	Hortaliça
	Agricultor 49	-		3,76	1.006,56	-	Hortaliça
Agricultor 50	-		5,23	710,49	-	Hortaliça	
Agricultor 51	-		3,72	997,92	-	Hortaliça	
TOTAL		20.324,35	4.241.839,72	6.505,98	1.357.494,78		

ANEXO III - CÁLCULOS DE DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR

Equação 1: Massa Seca (MS em m3) $MS_T = Q * MS$ Q = Quantidade de biomassa disponível (m ³ /dia) MS = Percentual de massa seca (%).		Resíduos vegetais
	Q	0,45
	MS	0,20
	MS_T	0,09

S

Equação 2: Volume de água para mistura $Vm = Q_{afuente} - Q$ Equação 3: $Q_{afuente} = MS_T/D$ (m3) D = Percentual de diluição recomendado = 10% (90% de água)		TOTAL
	Q_{afuente}	0,91
	Q	0,45
	Vm	0,45

Equação 4: Volume útil do biodigestor (m₃) $Vd = Q_{afuente} * TRH$ Q _{afuente} = MS/D (m3) TRH = Tempo de Retenção Hidráulica (d)		TOTAL
	Q_{afuente}	0,90
	TRH	30
	Vd	27,23

Equação 5: Carga Orgânica Volumétrica $COV = MV / Vd$ Equação 6: $MV = (Q * MS * MOS) * P$ MS = quantidade de biomassa, Q = quantidade de biomassa disponível (m ³ /dia), MS = percentual de massa seca (%), MOS = percentual de massa úmida (%) P = peso específico da biomassa (kg/m ³).		Resíduos vegetais	TOTAL
	MS	0,20	0,85
	MOS	0,80	2,45
	Q	0,45	0,45
	MV	0,07	58,08
	COV	-	2,13