

**PROJETO DE SUSTENTABILIDADE DA MATRIZ ENERGÉTICA COM  
INSERÇÃO DO BIOGÁS**

**COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL LAR  
SEBRAETEC AGLOMERAÇÃO PRODUTIVA**

**Foz do Iguaçu, Agosto de 2016**

## SUMÁRIO

<b>1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....</b>	<b>1.1</b>
<b>2. RESUMO EXECUTIVO.....</b>	<b>2.1</b>
<b>3. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL .....</b>	<b>3.1</b>
3.1 ÁREA DE ATUAÇÃO .....	3.1
3.2 PROPRIEDADES E UNIDADES PRODUTIVAS .....	3.2
3.2.1 COLETA DE DADOS .....	3.2
3.2.2 UNIDADES PRODUTIVAS.....	3.2
3.2.3 PLANTEL DE ANIMAIS.....	3.6
3.3 UNIDADES INDUSTRIAIS E DE PRODUÇÃO.....	3.8
<b>4. POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE DEJETOS .....</b>	<b>4.1</b>
4.1 PRODUÇÃO DE DEJETOS .....	4.1
4.1.1 DEJETOS DA BOVINOCULTURA DE LEITE.....	4.2
4.1.2 DEJETOS DA AVICULTURA .....	4.3
4.1.3 DEJETOS DA SUINOCULTURA.....	4.4
4.1.4 PRODUÇÃO DE DEJETOS REGIONAL .....	4.5
<b>5. SISTEMA DE BIODIGESTÃO .....</b>	<b>5.1</b>
5.1 PREPARO DA BIOMASSA .....	5.1
5.2 BIODIGESTORES.....	5.3
5.2.1 BIODIGESTOR MODELO VERTICAL RÍGIDO DE FLUXO ASCENDENTE.....	5.4
5.2.2 BIODIGESTOR “PLUG-FLOW” OU LAGOA COBERTA.....	5.4
5.2.3 BIODIGESTOR DE LAGOA COBERTA .....	5.5
5.3 SISTEMA DE ARMAZENAMENTO .....	5.6
5.4 SISTEMA DE TRANSPORTE .....	5.7
5.4.1 NORMAS REGULAMENTADORAS.....	5.7
5.4.2 VALVULAS DE SEGURANÇA .....	5.7
5.4.3 SISTEMA DE COMPRESSÃO .....	5.8
5.4.4 TRAÇADO DA REDE COLETORA.....	5.8
5.5 DIGESTATO .....	5.8
5.6 BIOFERTILIZANTE .....	5.9
5.6.1 APLICAÇÃO DO BIOFERTILIZANTE.....	5.10
5.7 SISTEMA DE PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS.....	5.10
5.7.1 SISTEMA DE REMOÇÃO DE H <sub>2</sub> S.....	5.11
5.7.2 SISTEMA DE REFINO .....	5.11
5.8 GESTÃO TERRITORIAL.....	5.3

<b>6. LINHAS DE FINANCIAMENTO .....</b>	<b>6.1</b>
6.1 PRONF ECO SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL.....	6.1
6.2 PROGRAMA ABC - PROGRAMA PARA REDUÇÃO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA AGRICULTURA.....	6.1
6.3 PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO COOPERATIVO PARA AGREGAÇÃO DE VALOR À PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA - PRODECOOP.....	6.2
6.4 PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DA AGRICULTURA E CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS - MODERAGRO .....	6.2
6.5 PROGRAMA DE INCENTIVO À INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA – INOVAGRO .....	6.3
<b>7. POTENCIA DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS.....</b>	<b>7.1</b>
7.1 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR CLASSE AGROPECUÁRIA .....	7.2
<b>8. ESTIMATIVA DE REDUÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA.....</b>	<b>8.1</b>
<b>9. ARRANJOS ENERGÉTICOS.....</b>	<b>9.1</b>
9.1 ARRANJO ENERGÉTICO SÃO ROQUE. ....	9.1
9.2 ARRANJO ENERGÉTICO DOM ARMANDO .....	9.3
9.3 ARRANJO ENERGÉTICO DE SANTA CRUZ DO OCOY.....	9.4
9.4 ARRANJO ENERGÉTICO DE SERRANÓPOLIS DO IGUAÇU.....	9.6
9.5 SELEÇÃO DO ARRANJO TÉCNICO .....	9.7
<b>10. ESTUDO DE CASO – SÃO ROQUE .....</b>	<b>10.1</b>
10.1 ARRANJO ENERGÉTICO.....	10.1
10.2 PLANTEL DE ANIMAIS.....	10.3
10.3 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS .....	10.4
10.4 CAPEX E OPEX – SISTEMA DE BIODIGESTÃO .....	10.5
10.5 PRECIFICAÇÃO DO BIOGÁS.....	10.6
10.6 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS.....	10.7
10.6.1 Cenário 1 – Energia Térmica.....	10.8
10.6.1.1 Viabilidade Econômica – Cenário 1 .....	10.10
10.6.2 Cenário 2 – Combustível Veicular .....	10.11
10.6.2.1 Viabilidade Econômica – Cenário 2 .....	10.13
10.6.3 Cenário 3 – Energia Elétrica.....	10.14
10.6.3.1 Viabilidade Econômica – Cenário 3 .....	10.15
10.6.4 Cenário 4 – Cenário Dinâmico.....	10.16
10.6.4.1 Viabilidade Econômica – Cenário 4.....	10.17
10.7 GOVERNANÇA DO PROJETO.....	10.1
<b>11. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>11.1</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Contabilização de Propriedades Rurais e Unidades Produtivas .....	3.3
Tabela 3.2 – Número de Unidades de Produção por Município.....	3.6
Tabela 3.3 – Un. Industriais e de Produção e Consumo Energético .....	3.8
Tabela 4.1 – Estimativa de Produção de Dejetos por Animal.....	4.1
Tabela 4.2 – Estimativa de Volume de Dejetos Produzidos pelo Plantel da Lar.....	4.2
Tabela 5.1 – Referenciais para os nutrientes das diferentes biomassas.....	5.9
Tabela 7.1 – Estimativa de Produção de Biogás por Kg de Dejeito .....	7.1
Tabela 7.2 – Estimativa de Produção de Biogás por Categoria de Produção Pecuária .....	7.1
Tabela 7.3 – Caracterização da Biomassa Residual de Bovinos de Leite e Suinocultura em Terminação .....	7.3
Tabela 7.4 – Caracterização da Biomassa Residual de Bovinos de Leite e Suinocultura em Terminação .....	7.3
Tabela 8.1 – Emissão de CO <sub>2</sub> .....	8.1
Tabela 9.1 – Potencial teórico de produção de dejetos e biogás -Arranjo São Roque.....	9.2
Tabela 9.2 – Potencial de substituição energética .....	9.3
Tabela 9.3 – Potencial teórico de produção de dejetos e biogás .....	9.4
Tabela 9.4 – Potencial de substituição energética .....	9.4
Tabela 9.5 – Potencial teórico de produção de dejetos e biogás .....	9.5
Tabela 9.6 – Potencial de substituição energética .....	9.6
Tabela 9.7 – Potencial teórico de produção de dejetos e biogás .....	9.7
Tabela 9.8 – Potencial de substituição energética .....	9.7
Tabela 9.9 – Plantel animal e potencial de produção de dejetos e biogás por arranjo.....	9.7
Tabela 10.1 – Preço Individual do Biogás por Produtor.....	10.6
Tabela 10.2 – Valor Médio do Biogás para o Arranjo de São Roque.....	10.7
Tabela 10.3 – Valores de CAPEX e OPEX – Cenário 1.....	10.11
Tabela 10.4 – Valores de CAPEX e OPEX – Cenário 2.....	10.12
Tabela 10.5 – Valores de CAPEX e OPEX – Cenário 3.....	10.15
Tabela 10.6 – Valores de CAPEX e OPEX – Cenário 4.....	10.17

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Área de Atuação da Cooperativa Lar - Cooperados, Unidades Industriais e de Produção.....	3.1
Figura 3.2 - Unidades com Avicultura e sua combinação com outras classes pecuárias .....	3.4
Figura 3.3 - Unidades com Bovinocultura e sua combinação com outras classes pecuárias.....	3.5
Figura 3.4 - Unidades com Suinocultura e sua combinação com outras classes pecuárias.....	3.5
Figura 3.5 - Unidades com Avicultura, Bovinocultura, Suinocultura e sua combinação com outras classes pecuárias .....	3.6
Figura 3.6 - Plantel de Animais por Município e por Atividade Pecuária.....	3.7
Figura 4.1 - Volume Estimado de Dejetos de Bovinos por Município.....	4.3
Figura 4.2 - Volume Estimado de Dejetos de Aves por Município .....	4.4
Figura 4.3 - Volume Estimado de Dejetos de Suínos por Município .....	4.5
Figura 4.2 - Volume Estimado de Dejetos por Município.....	4.6
Figura 5.1 – Sistema Genérico de Biodigestão.....	5.1
Figura 5.2 – Sistemas de Preparo de Biomassa Residual de Bovinocultura.....	5.2
Figura 5.3 – Sistemas de Preparo de Biomassa Residual de Suinocultura.....	5.2
Figura 5.4 – Sistemas de Preparo de Biomassa Residual de Avicultura .....	5.3
Figura 5.5 – Biodigestor Modelo Vertical Rígido de Fluxo Ascendente.....	5.4
Figura 5.6 – Biodigestor Lagoa Coberta .....	5.5
Figura 5.7 – Biorreator de mistura completa com agitador e demais tecnologias.....	5.6
Figura 5.8 – Lagoa de Armazenamento do Biogás.....	5.6
Figura 5.9 – Lagoa de Armazenamento de Digestato.....	5.9
Figura 5.10 – Sistemas de Aplicação de Biofertilizante.....	5.10
Figura 5.11 – Solos do Oeste do Estado do Paraná.....	5.12
Figura 5.12 – Nível Topográfico.....	5.13
Figura 5.13 – Localização das rodovias federais e municipais.....	5.13
Figura 5.14 – Aptidão agrícola .....	5.14
Figura 7.1 – Volume Estimado de Biogás por Município.....	7.2
Figura 7.2 – Produção Estimada de Biogás.....	7.4
Figura 9.1 – Arranjos Energéticos Selecionados .....	9.1
Figura 9.2 – Arranjo energético – Santa Helena .....	9.2
Figura 9.3 – Arranjo energético - Dom Armando.....	9.3
Figura 9.4 – Arranjo energético - Santa Cruz do Ocoy.....	9.5
Figura 9.5 – Arranjo energético - Serranópolis do Iguaçu.....	9.6
Figura 10.1 – Localização das Unidades de Produção – São Roque .....	10.2

<b>Figura 10.2 – Unidades de Produção Seleccionadas .....</b>	<b>10.3</b>
<b>Figura 10.3 – Plantel de Animais do Arranjo de São Roque .....</b>	<b>10.4</b>
<b>Figura 10.4 – Potencial de Produção de Biogás por Unidade de Produção .....</b>	<b>10.4</b>
<b>Figura 10.5 – CAPEX do Sistema de Biodigestão para Cada Unidade de Produção .....</b>	<b>10.5</b>
<b>Figura 10.6 – Viabilidade Econômica para Cada Produtor do Arranjo de São Roque .....</b>	<b>10.7</b>
<b>Figura 10.7 – Fluxograma Cenário 1 – Energia Térmica .....</b>	<b>10.9</b>
<b>Figura 10.8 – Carreta Skid para Armazenamento e Transporte de Biometano .....</b>	<b>10.9</b>
<b>Figura 10.9 – Fluxo de Caixa Acumulado Descontado para o Cenário 1 .....</b>	<b>10.11</b>
<b>Figura 10.10 – Fluxograma Cenário 2 – Combustível Veicular .....</b>	<b>10.11</b>
<b>Figura 10.11 – Fluxo de Caixa Acumulado Descontado para o Cenário 2 .....</b>	<b>10.13</b>
<b>Figura 10.12 – Fluxograma Cenário 3 – Energia Elétrica .....</b>	<b>10.14</b>
<b>Figura 10.13 – Fluxo de Caixa Acumulado Descontado para o Cenário 3 .....</b>	<b>10.16</b>
<b>Figura 10.14 – Fluxograma Cenário 4 – Dinâmico .....</b>	<b>10.16</b>
<b>Figura 10.15 – Fluxo de Caixa Acumulado Descontado para o Cenário 4 .....</b>	<b>10.18</b>

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Em relação a demanda energética, o setor do agronegócio se caracteriza pelo alto consumo de energia. Na matriz energética atual das agroindústrias, existe uma dependência principalmente de: (i) Biomassa florestal (lenha e cavaco) em processos de aquecimento; (ii) Diesel na logística de transporte; e (iii) Energia elétrica em processos produtivos. Sem ter a gestão sobre a produção e disponibilidade dessas fontes, qualquer alteração no mercado fornecedor, pode implicar negativamente na competitividade deste do setor agroindustrial. Dessa forma, identifica-se baixo nível de autosustentabilidade energética, podendo comprometer os sistemas de produção.

Nesse contexto, destaca-se o biogás e seu dinamismo, podendo ser utilizado para gerar energia elétrica, térmica e veicular, de forma descentralizada. Considerado um ativo econômico e energético, atende diversas expectativas do desenvolvimento sustentável, com foco na eficiência e na segurança energética.

A possibilidade de inserir o biogás como combustível para geração de energia, à atual matriz energética da agroindústria, resulta em um potencial de economia financeira significativa para o setor agropecuário. Além de proporcionar o tratamento adequado aos resíduos orgânicos altamente poluentes quando dispostos inadequadamente.

Mediante ao atual cenário energético, o SEBRAE e o CIBiogás consolidaram através do Programa SEBRAETEC um novo conceito de sustentabilidade energética do cooperativismo agropecuário no Oeste do Paraná. Garantindo ao público alvo acesso subsidiado a serviços tecnológicos, com objetivo de: (i) Fortalecer a capacidade competitiva no agronegócio paranaense; (ii) Realizar a transferência de tecnologia entre instituições e empresas; (iii) Superar gargalos tecnológicos e; (iv) Estimular o processo de inovação e tecnologia.

Dessa forma, foi identificada a oportunidade junto a Cooperativa Lar em desenvolver uma solução de sustentabilidade para a matriz energética da Cooperativa, com a inserção de aplicações energéticas do biogás, biometano e biofertilizante oriundo do tratamento da biomassa residual animal da cadeia produtiva. As ações realizadas no estudo foram baseadas nas atividades descritas a seguir:

- 1) Diagnóstico Situacional – Cadastro técnico das unidades de produção agropecuárias, demanda energética das unidades industriais, caracterização geográfica da região do estudo;
- 2) Processamento das informações – Estimativa do potencial de produção de biogás e geração de energia elétrica, térmica e combustível veicular;

- 3) Arranjos energéticos – Dimensionamento de sistemas de produção, transporte, beneficiamento, armazenamento de biogás, produção de energia elétrica, térmica e combustível veicular;
- 4) Estudo de viabilidade técnica e econômica – Análise dos dados com foco na viabilidade econômica de arranjos selecionados.

## 2. RESUMO EXECUTIVO

O estudo da cadeia do biogás e as oportunidades de inserção na matriz energética da Cooperativa Lar foi baseado nos sistemas de produção pecuária, na dinâmica das unidades produtivas e nos arranjos das propriedades.

Foram identificadas 1.527 unidades de produção pecuária, em 18 municípios de atuação da Cooperativa. Neste contexto, quando avaliado o número de unidades produtivas, a avicultura destacou-se, com 733 unidades e 48% do total, em seguida a Bovinocultura com 621 unidades e por último com apenas 11% do total, a suinocultura.

O estudo também contemplou a identificação do consumo energético das 27 unidades industriais e de produção, nas quais somente 3 unidades (UIA-UIC/Matelândia, UIS/Céu Azul e UPP/Santa Helena), juntas consomem aproximadamente 80% de toda a demanda de energia elétrica da Cooperativa, do total de 111.047 MWh/ano. Em relação à demanda por energia térmica (biomassa florestal), as unidades com maior demanda são da Op. Medianeira, da UIA-UIC/Matelândia e da Op. Diamante, representando 26% da demanda total de 100.755 m<sup>3</sup>/ano.

Os cálculos de estimativa da produção de biogás, foram realizados a partir da metodologia desenvolvida pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) e adaptada pelo CIBiogás para a região Oeste do Estado do Paraná. Considerando as categorias de bovinos, suínos e aves, o potencial de produção de dejetos é de aproximadamente 514.100 m<sup>3</sup>/ano e de biogás de 19.840.000 m<sup>3</sup>/ano. O município de Santa Helena apresentou o maior potencial de produção de biogás, estimado em 4.637.242 m<sup>3</sup>/ano.

Com a implementação dos sistemas de biodigestão nas propriedades rurais, estima-se uma redução das emissões dos gases de efeito estufa em 90%, ou seja, reduziria as emissões de 167.317 ton CO<sub>2</sub>/ano para 16.732 ton CO<sub>2</sub>/ano.

A partir das informações do potencial de produção de dejetos, biogás e correlação do potencial da oferta de energia, com a demanda energética das unidades industriais da Lar, foram selecionados 4 arranjos energéticos. Desses, o arranjo de São Roque em Santa Helena foi selecionado para caracterização e pré-dimensionamento.

O arranjo energético escolhido é composto por 24 unidades produtivas, interligadas por uma rede coletora de biogás, com um potencial de produção de aproximadamente 1.230.000m<sup>3</sup>/ano. No arranjo proposto também é considerado o pagamento pelo biogás produzido pelos produtores. O valor estimado de R\$0,30/m<sup>3</sup> de biogás foi estabelecido

baseado na viabilidade do sistema de biodigestão, pré-dimensionado para cada unidade de produção.

Para determinar o melhor cenário de uso do biogás, foi realizada viabilidades técnicas e econômicas para 4 diferentes arranjos energéticos: (i) Energia Térmica; (ii) Energia Elétrica; (iii) Combustível Veicular; e (iv) Dinâmico: Energia Elétrica e Combustível Veicular. Dentre os cenários apresentados, os que apresentaram melhor viabilidade técnica e econômica foram os de geração de energia elétrica e o dinâmico.

### 3. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL

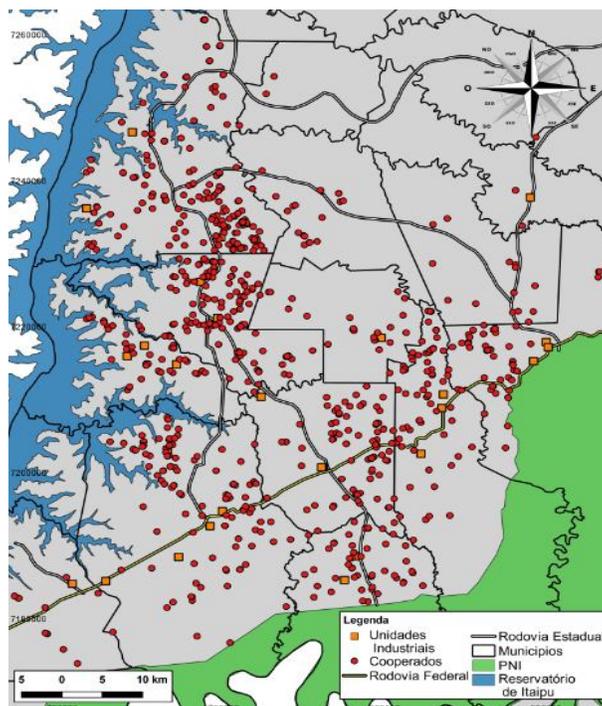
Neste capítulo é apresentado o diagnóstico situacional da cadeia produtiva da Cooperativa Lar. É apresentada a caracterização da região onde a Cooperativa atua, das unidades industriais e de produção. O método utilizado foi o Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM).

Da mesma forma, foi realizado um estudo sobre os sistemas de produção pecuária, bem como a dinâmica das unidades de produção e os arranjos das propriedades. Por fim, é apresentado o diagnóstico da demanda de energética elétrica e térmica das Unidades Industriais e de Processamento.

#### 3.1 ÁREA DE ATUAÇÃO

Foi realizado o diagnóstico da área de estudo, onde foram levantados dados referentes aos municípios de atuação da Lar, malha viária e cadastro de cooperados.

**Figura 3.1 – Área de Atuação da Cooperativa Lar - Cooperados, Unidades Industriais e de Produção**



Fonte: CIH/CIBiogás

Por meio das informações fornecidas pela Cooperativa e de dados coletados a campo e em escritório, foi possível gerar materiais cartográficos, e informações em arquivos *Keyhole Markup Language* (KML), compatíveis para acesso no *software* Google Earth, bem

como em arquivo *Shapefile*, para acesso em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), como o gvSIG. Os mapas impressos, com as informações geográficas, estão disponíveis no Anexo 1 deste relatório. As informações digitais estão armazenadas em *pendrive* entregue junto a esse relatório.

### **3.2 PROPRIEDADES E UNIDADES PRODUTIVAS**

Este diagnóstico visa caracterizar as unidades produtivas de cooperados da Lar, de acordo com as suas especificidades, considerando: (i) Região; (ii) Município; (iii) Produtor; (iv) produção pecuária; e (v) Número de animais.

Dessa forma foi possível constituir uma base de dados consolidada para o desenvolvimento das demais informações deste projeto.

#### **3.2.1 COLETA DE DADOS**

Os dados referente as unidades produtivas foram disponibilizados pela Cooperativa Lar, tais como a localização, coordenada geográfica, proprietário, atividade pecuária e plantel animal.

Para a realização do levantamento da situação do licenciamento ambiental, foi utilizada a base disponibilizada pelo IAP, no Sistema de Gestão Ambiental (SGA).

O SGA permite a consulta dos dados referentes aos empreendimentos com avicultura e suinocultura, possibilitando o acompanhamento dos processos.

O portal não permite a consulta de licenciamentos que não foram emitidos pelo IAP, ou que estão em débito com o órgão ambiental. Além disto, existem propriedades que possuem denominações diferentes no licenciamento ambiental e no cadastro da Cooperativa.

As informações foram compiladas, organizadas e processadas com objetivo de consolidar um banco de dados para identificação das propriedades no território (Anexo 2).

#### **3.2.2 UNIDADES PRODUTIVAS**

Uma propriedade rural pode conter mais de uma unidade produtiva. A unidade produtiva é o local onde existe a criação de alguma das categorias de animais avaliadas (suinocultura, avicultura ou bovinocultura), podendo ser:

- I. Uma propriedade rural onde ocorre a criação de mais de uma classe de animais – ex: suínos com bovinos, suínos com aves, aves com bovinos ou bovinos, suínos e aves;

II. Uma propriedade rural onde há mais de um aviário.

As propriedades rurais e unidades produtivas foram segregadas de acordo com o tipo de categoria animal presente nas propriedades, formando 7 categorias no cadastro técnico das propriedades rurais, fornecendo, uma maior precisão na contabilização dos dados. Como pode ser visualizado na Tabela 3.1 a seguir.

**Tabela 3.1 – Contabilização de Propriedades Rurais e Unidades Produtivas**

<b>Categoria</b>	<b>Propriedades rurais</b>	<b>Unidades Produtivas</b>	
Aves	437	661	
Bovinos	538	538	
Suínos	122	122	
Aves e bovinos	42	Aves 53 Bovinos 42	95
Bovinos e suínos	39	Suínos 39 Bovinos 39	78
Aves e suínos	10	Aves 17 Suínos 10	27
Aves, bovinos e suínos	2	Aves 2 Bovinos 2 Suínos 2	6
<b>Total</b>	<b>1.190</b>	<b>1.527</b>	

Fonte: CIBiogás/2015

Nos 18 municípios considerados foram identificadas 1.527 unidades produtivas, entre aves, bovinos e suínos, localizadas em 1.190 propriedades rurais, considerando o índice de 1,28 unidades produtivas por propriedade e entre as propriedades que possuem mais de uma unidade produtiva o índice é de 2,21.

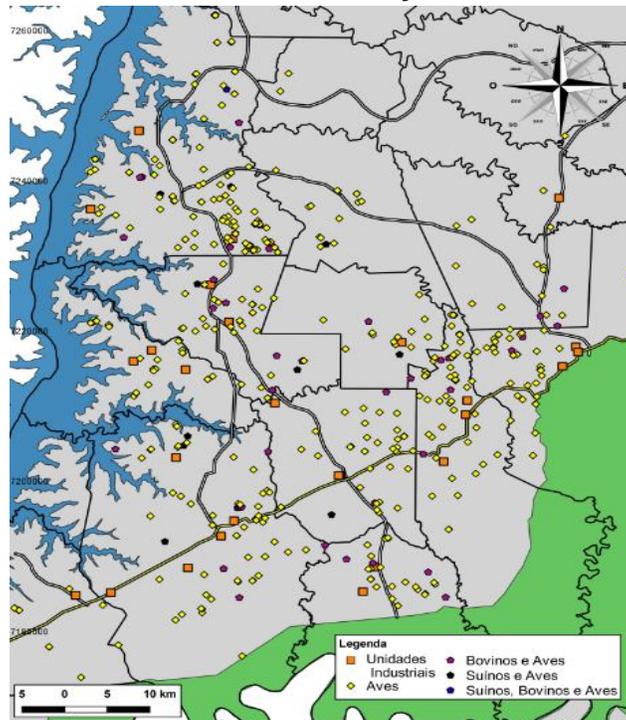
A grande maioria das propriedades (92%) apresentam exclusivamente um tipo de atividade pecuária. Quando avaliado as atividades produtivas, o número de propriedades com bovinocultura destacou-se, com 621 propriedades. Em seguida a avicultura com 491 unidades e a suinocultura com 173 propriedades.

Em 93 propriedades rurais ocorre uma combinação de diferentes atividades pecuárias, representando apenas 8% do total. Nesse sistema, a combinação de Avicultura e Bovinocultura possui maior representatividade, com 3,5% do total (42 propriedades e 95 unidades produtivas). Em seguida, a combinação de Bovinocultura e Suinocultura, com 3,3% (39 propriedades e 78 unidades produtivas), Avicultura e Suinocultura com 0,8% (10 propriedades e 27 unidades produtivas) e enfim a combinação das três classes de pecuárias, Avicultura, Bovinocultura e Suinocultura com apenas 0,2% do total (2 propriedades e 6 unidades produtivas).

O potencial de produção de dejetos e biogás considera todas as unidades produtivas, entretanto não foi possível a identificação geográfica<sup>1</sup> de todas as propriedades rurais envidas pela Cooperativa. Os mapas com maiores detalhes encontram-se no Anexo 1 deste documento.

Nas Figuras 3.2, 3.3 e 3.4 pode ser observado a disposição das unidades com Avicultura, Bovinocultura, Suinocultura e a combinação de diferentes atividades pecuárias.

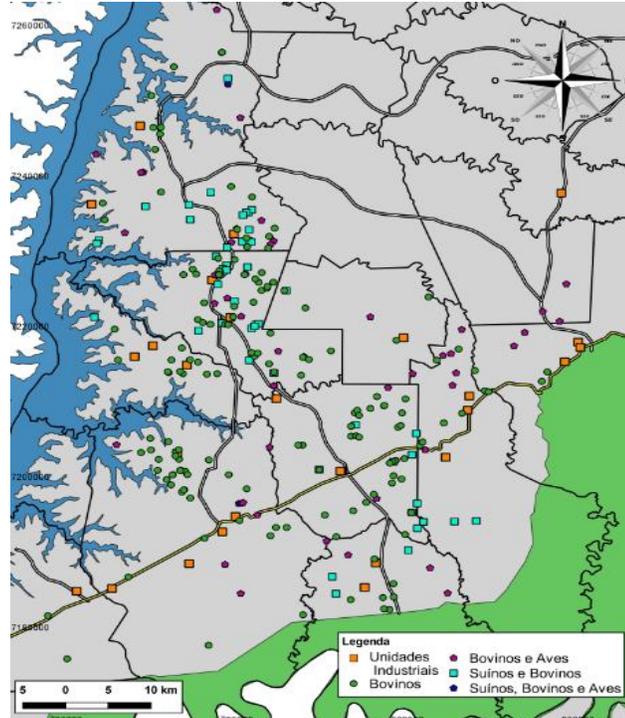
**Figura 3.2 - Unidades com Avicultura e sua combinação com outras classes pecuárias**



Fonte: CIH/CIBiogás

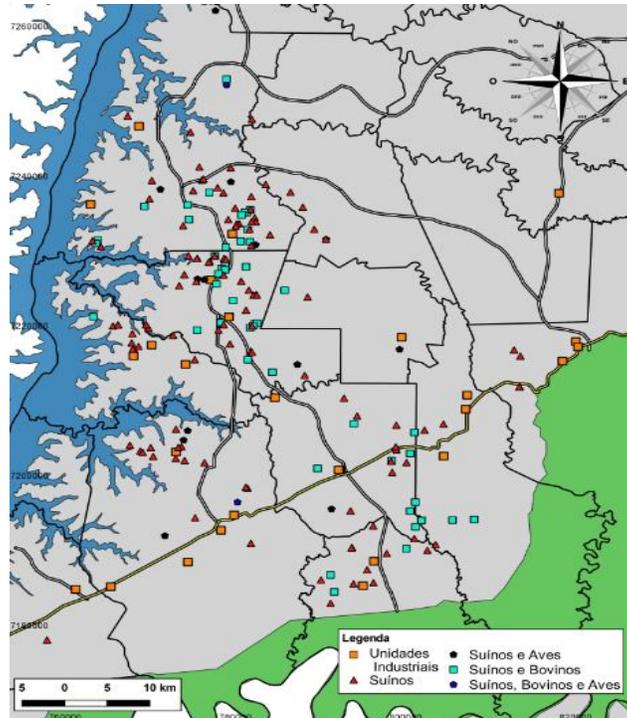
<sup>1</sup> Dos dados enviados pela Cooperativa, não constavam a localização geográfica de 366 propriedades de bovinocultura do total de 621, 8 propriedades de suinocultura do total de 173 e 5 propriedades de avicultura do total de 491. Porém, o plantel dessas foram considerados nos cálculos de potencial de produção de biogás.

**Figura 3.3 - Unidades com Bovinocultura e sua combinação com outras classes pecuárias**



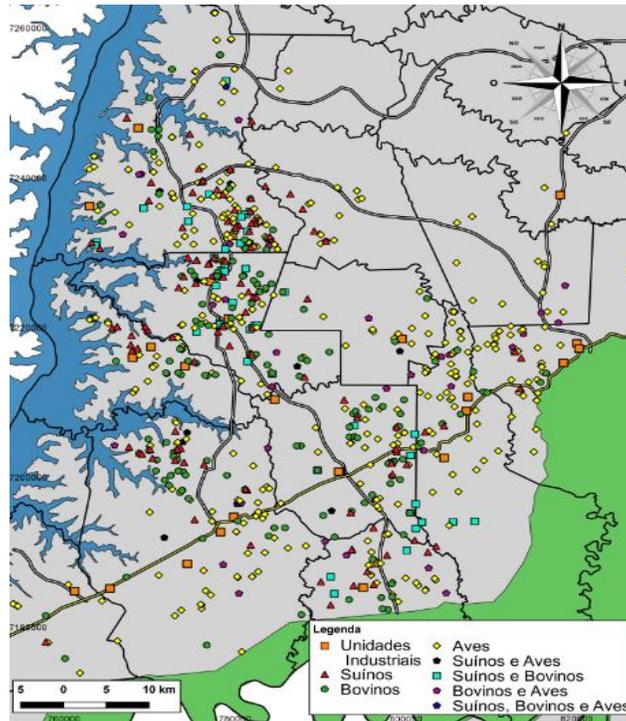
Fonte: CIH/CIBiogás

**Figura 3.4 - Unidades com Suinocultura e sua combinação com outras classes pecuárias**



Fonte: CIH/CIBiogás

**Figura 3.5 - Unidades com Avicultura, Bovinocultura, Suinocultura e sua combinação com outras classes pecuárias**



Fonte: CIH/CIBiogás

### 3.2.3 PLANTEL DE ANIMAIS

A análise do plantel de animais em unidades de cooperados da Lar por município, é fundamental para o cálculo do potencial de produção de biogás, por ser uma fonte de energia renovável muito dependente do arranjo regional. Dessa forma, foram avaliadas 1.527 unidades de produção nos 18 municípios de atuação da Cooperativa, como apresentado na Tabela 3.2 a seguir.

**Tabela 3.2 – Número de Unidades de Produção por Município**

<b>Municípios</b>	<b>Unidades de Produção</b>	<b>%</b>
Santa Helena	322	21,1%
Missal	247	16,2%
São Miguel Do Iguaçu	219	14,3%
Medianeira	161	10,5%
Matelândia	160	10,5%
Serranópolis Do Iguaçu	112	7,3%
Céu Azul	90	5,9%
Itaipulândia	84	5,5%
Diamante Do Oeste	35	2,3%
Ramilândia	33	2,2%
Santa Terezinha De Itaipu	26	1,7%
Vera Cruz Do Oeste	25	1,6%
São Pedro	5	0,3%

<b>Municípios</b>	<b>Unidades de Produção</b>	<b>%</b>
Formosa Do Oeste	2	0,1%
Toledo	2	0,1%
Foz Do Iguaçu	2	0,1%
São José Das Palmeiras	1	0,1%
Palotina	1	0,1%

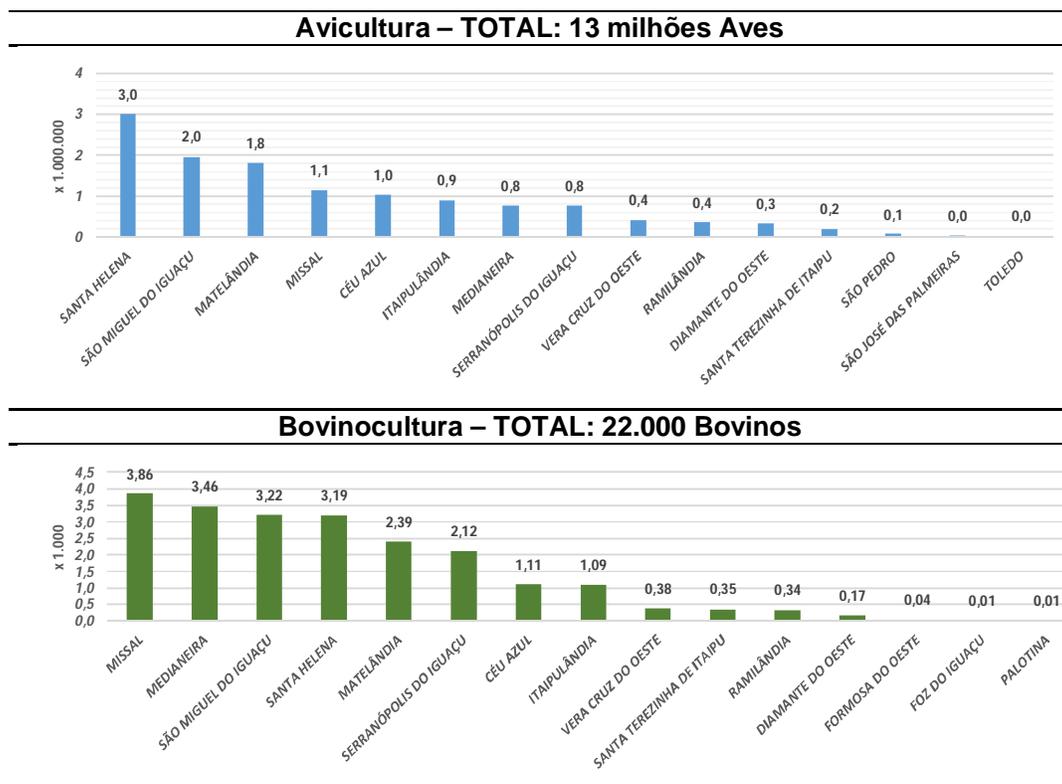
Fonte: CIBiogás/2015

Foi constatado que os municípios de Sta. Helena, Missal, São Miguel do Iguaçu, Medianeira, Matelândia e Serranópolis do Iguaçu concentram o maior número de unidades, representando aproximadamente 80% do total.

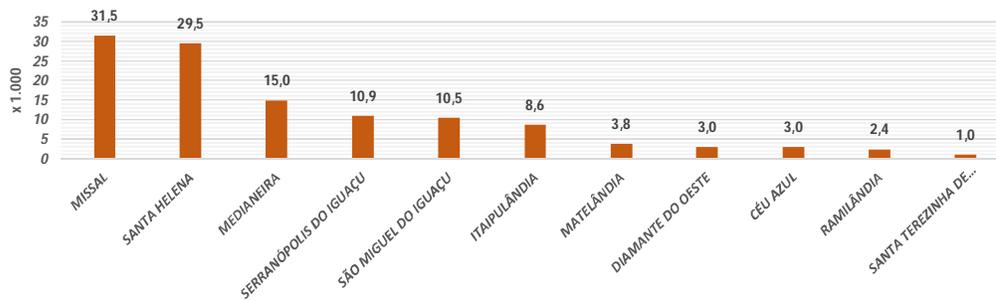
Em contrapartida, os municípios de Formosa do Oeste, Toledo, Foz do Iguaçu, São José das Palmeiras e Palotina são os que possuem menor representatividade com 0,5% do total, somando apenas 8 unidades.

Da mesma forma, existe ainda a necessidade da avaliação do plantel de animais de cada atividade pecuária por município de atuação da Cooperativa. A compilação dessas informações podem ser observadas na Figura 3.6, abaixo.

**Figura 3.6 – Plantel de Animais por Município e por Atividade Pecuária**



**Suinocultura – TOTAL: 119.000 Suínos**



Fonte: CIBiogás/2015

Como pode ser observado, o município de Missal possui maior representatividade no número de unidades nos diferentes sistemas de produção pecuária. Este município detém o maior plantel em Bovinocultura e Suinocultura e é o 4º lugar em número de Aves.

Deve ser destacado também o município de Sta. Helena, com o maior número de Aves, segundo maior plantel em Suinocultura, quarto maior plantel em Bovinocultura e o maior em área territorial.

### 3.3 UNIDADES INDUSTRIAIS E DE PRODUÇÃO

Para um efetivo dimensionamento de como o biogás pode ser inserido na matriz energética da Cooperativa, é necessária uma análise da demanda de energia elétrica e térmica das Unidades Industriais e de Produção. Essa compilação pode ser visualizada na Tabela 3.3.

**Tabela 3.3 – Un. Industriais e de Produção e Consumo Energético**

#	Unidade	Município	Consumo de Energia Elétrica (MWh/ano)	Consumo de Biomassa Florestal (m³/ano)
1	Op. Agrocafeeira	Agrocafeeira	179	1.000
2	Op. Boa Vista	Boa Vista	252	3.000
3	UIS	Céu Azul	16.512	5.840
4	UIE	Céu Azul	248	2.400
5	Op. Diamante	Diamante	23	8.000
6	Op. Rossato	Foz do Iguaçu	96	7.000
7	UPL	Itaipulândia	1.425	N/A
8	Op. Itaipulândia	Itaipulândia	148	4.000
9	UIA/UIC	Matelândia	56.636	8.315
10	UPS	Matelândia	48	N/A
11	UIR	Medianeira	2.085	7.300
12	Op. Medianeira	Medianeira	1.998	10.000
13	UPM	Medianeira	285	N/A
14	UIM	Missal	4.731	N/A
15	Op. Missal	Missal	604	5.000

#	Unidade	Município	Consumo de Energia Elétrica (MWh/ano)	Consumo de Biomassa Florestal (m <sup>3</sup> /ano)
16	Op. Nova Roma	Nova Roma	1.320	4.000
17	Op. Nova STI	Nova STI	586	4.500
18	Op. Ramilândia	Ramilândia	59	500
19	UPP	Santa Helena	11.556	N/A
20	UIR	Santa Helena	6.602	4.400
21	Op. S. Helena	Santa Helena	1.288	N/A
22	Op. Santa Rosa	Santa Rosa	186	3.500
23	Op. São Miguel	São Miguel	556	7.500
24	Op. S. Roque	São Roque	185	4.000
25	Op. São Vicente	São Vicente	1.477	5.000
26	UPL	Serranópolis	1.537	N/A
27	Op. Serranópolis	Serranópolis	424	5.500
<b>TOTAL</b>			<b>111.047</b>	<b>100.755</b>

N/A=Não Aplicável;

Fonte: CIBiogás/2015

Como pode ser observado na tabela acima, as unidades que apresentam maior consumo de energia elétrica são: (i) UIA/UIC – Matelândia; (ii) UIS – Céu Azul; e a UPP – Santa Helena, consumindo aproximadamente 80% de toda a demanda de energia elétrica da Cooperativa.

Em relação à demanda por energia térmica (biomassa florestal), as unidades com maior demanda são: (i) Op. Medianeira; (ii) UIA/UIC – Matelândia; e (iii) Op. Diamante, representando 26% da demanda total.

#### 4. POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE DEJETOS

Para o cálculo da estimativa da produção de biogás, foi necessário primeiramente, estimar o volume de dejetos por classe de produção pecuária. Essas estimativas são baseadas nos dados enviado pela Cooperativa e referenciados pelo CIBiogás, adquiridos pelo histórico de projetos desenvolvidos pelo Centro.

A seguir serão apresentadas as estimativas de produção de dejetos para cada uma das categorias de produção agropecuárias praticadas pela Lar.

##### 4.1 PRODUÇÃO DE DEJETOS

A quantidade e composição da biomassa residual animal varia em função do tipo de animal, espécie, finalidade, fase de criação, sistema de produção, diluição em água, entre outros fatores.

A atividade de criação de bovinos pode ocorrer de forma intensiva, semi-extensiva e extensiva, dependendo do tempo que o animal permanece confinado. Na maioria dos casos o sistema é o semi-extensivo, onde o gado de leite é confinado somente para ordenha.

Quanto a suinocultura, o sistema de produção se caracteriza pelo sistema de confinamento durante todo o lote, usualmente em sistema de lamina d'água.

Já na avicultura de corte o dejetos é acumulado no aviário por período de 10 a 15 lotes.

Pelos fatores citados anteriormente, nem sempre onde há maior concentração de animais haverá maior produção de dejetos, pois depende do tipo de criação e as peculiaridades dos resíduos gerados.

Os dados usados como base para o cálculo da estimativa são apresentados a seguir, na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1 – Estimativa de Produção de Dejetos por Animal**

<b>Categoria</b>	<b>Produção de Dejetos Por Animal</b>	<b>Densidade (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
Bovinos	0,0107 m <sup>3</sup> /dia*	998
Aves	0,0020 m <sup>3</sup> /lote	625
Suínos	7 l/dia	900

Fonte: CIBiogás

\*A estimativa de produção de dejetos de bovinos considerou 4 horas de confinamento por dia

A partir dos dados compilados e processados, foi possível estimar o volume de dejetos, produzidos pelo plantel da Cooperativa, apresentados na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2 – Estimativa de Volume de Dejetos Produzidos pelo Plantel da Lar**

<b>Categoria</b>	<b>Produção de Dejetos (m³/ano)</b>	<b>%</b>
Bovinos	84.600	16,5
Aves	125.000	24,3
Suínos	304.500	59,2
<b>Total</b>	<b>514.100</b>	<b>100,0</b>

Fonte: CIBiogás

A suinocultura, mesmo sendo a classe com menor número de unidades de produção (173 unidades), produz a maior quantidade de dejetos, representando 59% do total produzido pela Cooperativa, seguido pela avicultura com 24% e bovinocultura com 16%.

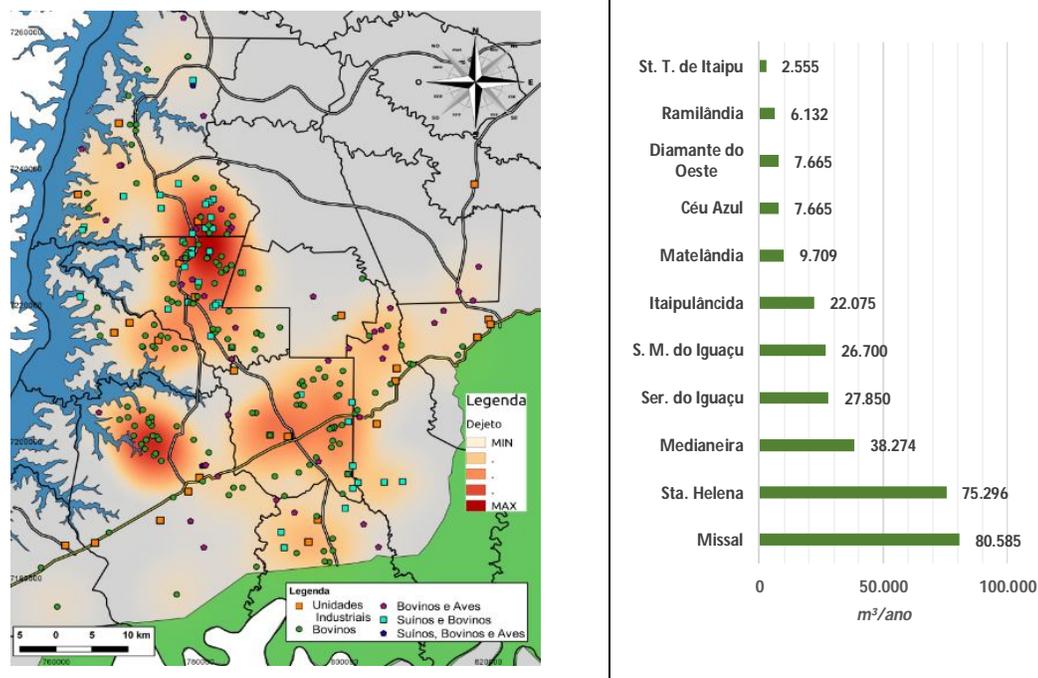
#### **4.1.1 DEJETOS DA BOVINOCULTURA DE LEITE**

Como a bovinocultura leiteira, na sua maioria é do tipo intensiva à pasto, o volume de dejetos depende principalmente da quantidade de horas que estes animais permanecem estabulados.

Portanto, para fins de cálculos e de acordo com as referências da base de dados do CIBiogás, adotou-se uma produção média de dejetos para a região de 0,00267 m³/h/animal, com regime médio de 4 horas/dia de confinamento.

Com um plantel de aproximadamente 22.000 bovinos, estima-se que a produção de dejetos seja de 232 m³/dia. Dessa forma, foi possível estimar o volume de dejetos por município de atuação da Cooperativa, apresentada na Figura 4.1, a seguir.

**Figura 4.1 – Volume Estimado de Dejetos de Bovinos por Município**



Fonte: CIH/CIBiogás

#### 4.1.2 DEJETOS DE AVICULTURA

Os dejetos provenientes de unidades de avicultura de corte são compostos basicamente por resíduos sólidos.

A cama de aviário consiste na mistura da excreta (fezes e urina), com o material utilizado como substrato para receber e absorver a umidade da excreta. Há variação nos materiais e nas quantidades utilizadas como para formação da cama, oscilando também o número de lotes criados sobre a mesma cama.

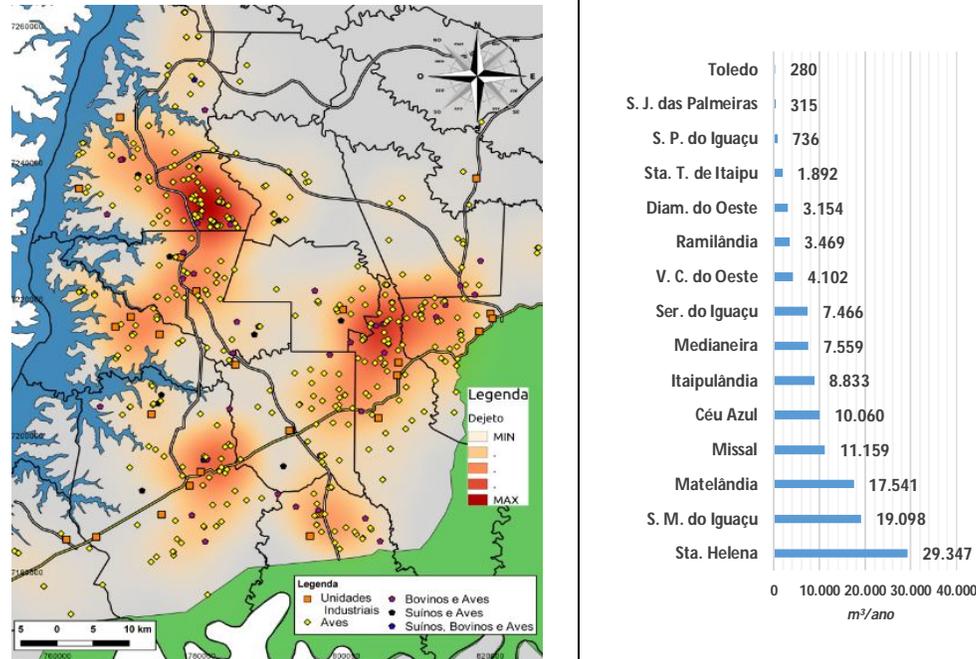
O material utilizado como cama no aviário, a maravalha e a casca de arroz, possuem fibras lignocelulósicas que se não pré-processadas, dificultam sua decomposição pelos microorganismos no processo de biodigestão. Também deve ser considerado suas características físicas e químicas como alto teor de sólidos, baixa umidade e tamanho das partículas.

A quantidade de cama de frango foi calculada com base na produção média da Cooperativa, onde foi considerada 10 toneladas para cada 1.000 aves em 10 lotes.

Com um plantel de aproximadamente 13.000.000 aves, estima-se que a produção de dejetos seja de 342 m³/dia, ou 214 ton/dia considerando uma densidade média de 0,6 ton/m³.

Dessa forma, foi possível estimar o volume de dejetos por município de atuação da Cooperativa, apresentada na Figura 4.3, a seguir.

**Figura 4.2 – Volume Estimado de Dejetos de Aves por Município**



Fonte: CIH/CIBiogás

### 4.1.3 DEJETOS DE SUINOCULTURA

A produção de dejetos na suinocultura varia consideravelmente em função do sistema de produção (ciclo completo; UPL 21 – matriz e maternidade; UPL 63 – UPL 21 e creche; terminação e creche).

Visto que a Cooperativa Lar fornece aos cooperados os leitões para engorda e a produção de dejetos já é tratada em suas unidades produtivas. Foi considerado apenas a categoria de terminação para os cálculos de produção de dejetos.

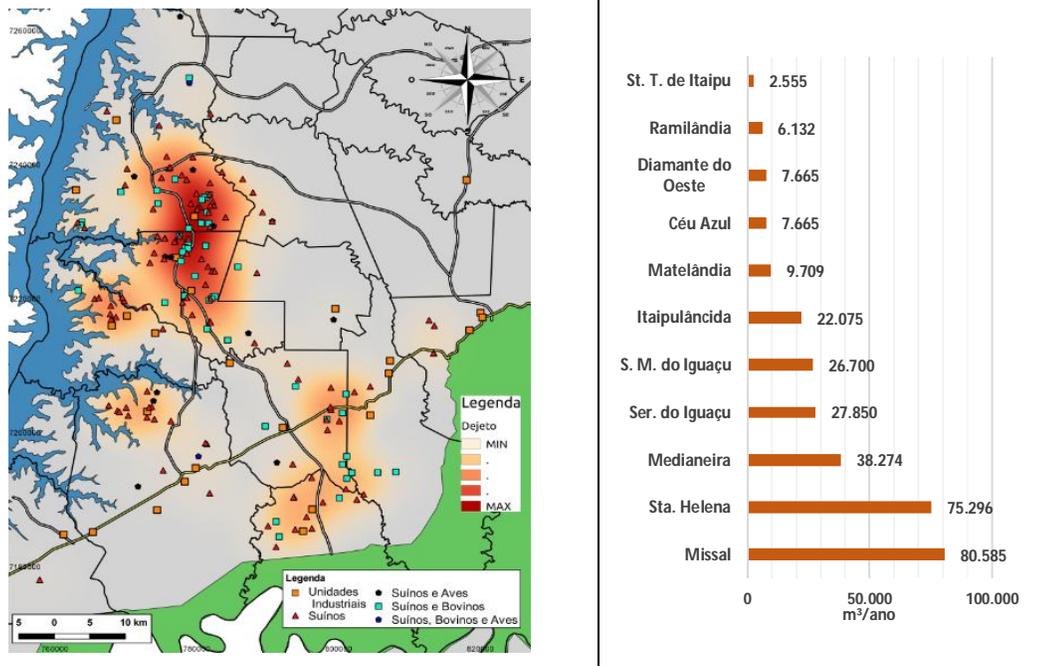
A produção de dejetos na terminação varia de acordo com a tecnologia empregada na unidade de produção, composição da ração, manejo e uso de água.

Visto que os cooperados possuem um padrão nas estruturas, composição da ração e manejo, é possível utilizar o mesmo valor para todas as unidades produtivas avaliadas.

Em relação ao uso de água no sistema, o desperdício varia de acordo com o zelo de cada cooperado com seus equipamentos, contudo, é possível basear em uma média de aproximadamente 5% do volume total de água utilizado na suinocultura.

No caso dos cooperados da Lar foi adotado o valor médio de 7 litros/dia/animal, devido aos fatores supracitados. Com um plantel de aproximadamente 120.000 suínos, estima-se uma produção de dejetos de 840 m<sup>3</sup>/dia.

**Figura 4.3 – Volume Estimado de Dejetos de Suínos por Município**

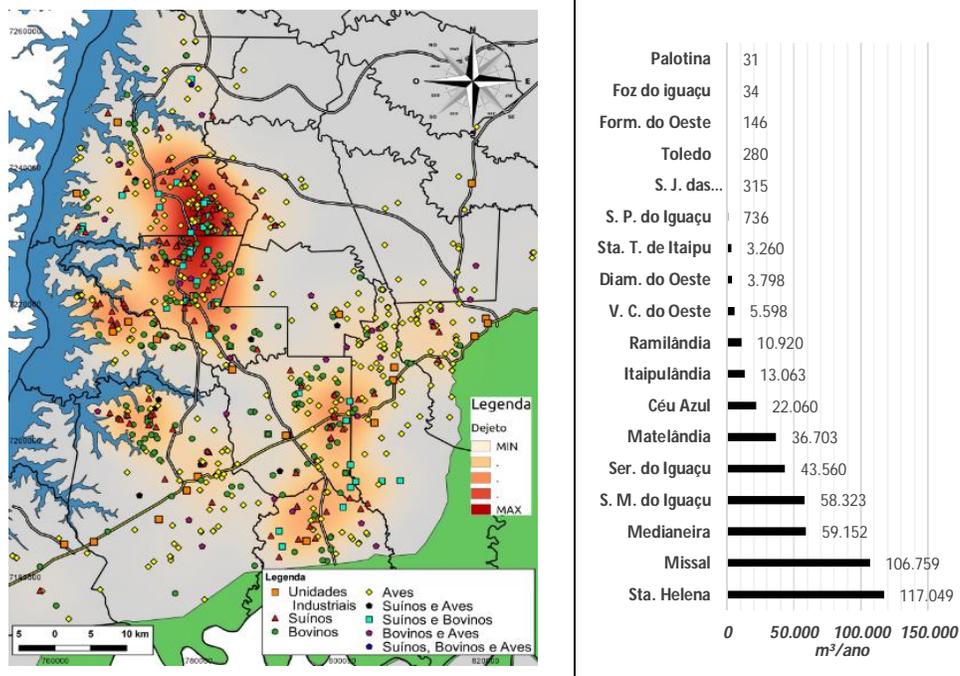


Fonte: CIH/CIBiogás

#### 4.1.4 PRODUÇÃO DE DEJETOS REGIONAL

A partir dos cálculos de potencial de produção de dejetos por categoria animal, a Figura 4.4 apresenta a localização geográfica e os municípios onde estão localizadas as maiores concentrações de biomassa residual das 3 categorias agropecuárias em avaliadas.

**Figura 4.4 – Volume Estimado de Dejetos por Município**



Fonte: CIH/CIBiogás

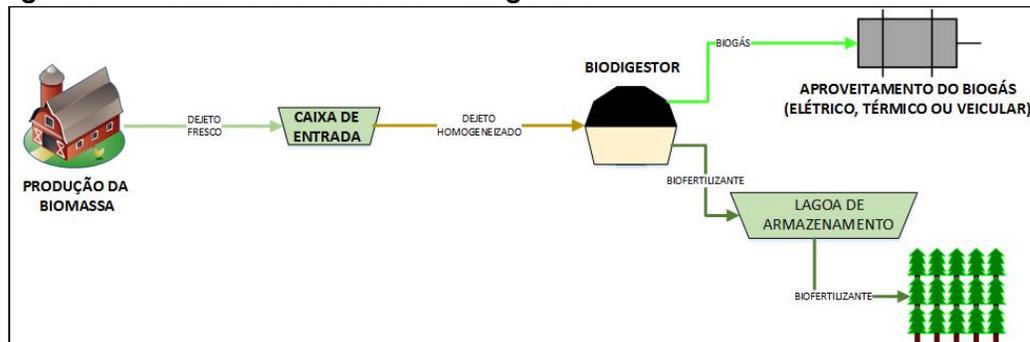
O território dos municípios de Sta. Helena e Missal, apresentam os maiores acumulados de dejetos, atingindo juntas um volume de aproximadamente 223.808 m<sup>3</sup> anuais. Somente esses dois municípios são responsáveis por gerar 46% de todo dejeito das atividades agropecuárias de cooperados da Lar, avaliadas no projeto.

## 5. SISTEMAS DE BIODIGESTÃO

Os equipamentos que compõem um sistema de biodigestão podem variar de acordo com: (i) o tipo de biomassa utilizada para produção de biogás; (ii) tecnologias disponíveis; (iii) eficiência almejada; (iv) recursos disponíveis - humanos e financeiros; e (v) finalidade da utilização do biogás. Entretanto, é possível determinar etapas e componentes básicos para um sistema de biodigestão eficiente, detalhados a seguir e exemplificados na Figura 5.1.

- **Preparo da biomassa** – Silagem, para dejetos de avicultura e homogeneização, para dejetos de bovinocultura e suinocultura;
- **Biodigestor** – Caixa de entrada, biorreator anaeróbico e caixa de saída;
- **Sistema de transporte** – rede coletora de biogás, do biodigestor até o armazenamento e do armazenamento até o ponto consumidor;
- **Sistema de armazenamento** – armazenamento do biogás em gasômetros;
- **Sistema de armazenamento de biofertilizante (digestato)** – lagoa de armazenamento do biofertilizante para utilização na lavoura.

**Figura 5.1 – Sistema Genérico de Biodigestão**



Fonte: CIBiogás

### 5.1 PREPARO DA BIOMASSA

O acompanhamento e o monitoramento das propriedades produtoras de biogás são imprescindíveis no sentido de garantir a qualidade do biogás gerado e sua conversão em fontes de energia. Isto se faz necessário também para manter a qualidade da biomassa residual, bem como de seus subprodutos, o biogás e o biofertilizante.

A qualidade da biomassa utilizada para a produção de biogás pode variar com a fonte fornecedora, disponibilidade, manejo, característica da região e o tipo de processamento.

Além disso, é necessário um pré-tratamento para que a biomassa apresente condições adequadas para produção de biogás e do biofertilizante. Cada tipo de biomassa

exige um determinado pré-tratamento, por exemplo, trituração, diluição, pesagem, esterilização, higienização, fracionamento, entre outros. O pré-tratamento também possibilita o aumento da eficiência da biodigestão, por facilitar o contato da biomassa com os microrganismos.

Para os dejetos da bovinocultura, é recomendado a separação dos sólidos grosseiros - como fibras longas presentes na alimentação dos animais, a diluição para uma taxa de sólidos totais adequados e a trituração da matéria orgânica.

A Figura 5.2 demonstra os sistemas de coleta por raspagem das baias e homogeneização manual com o auxílio de bombas hidráulicas.

**Figura 5.2 – Sistemas de Preparo de Biomassa Residual de Bovinocultura**



Fonte: CIBiogás

Os dejetos da suinocultura, por possuírem baixa concentração de sólidos, não necessitam de um sistema de preparo da biomassa tão robusto quanto os demais. Contudo, recomenda-se a homogeneização na caixa de entrada, conforme a Figura 5.3.

**Figura 5.3 – Sistemas de Preparo de Biomassa Residual de Suinocultura**



Fonte: CIBiogás

Para os dejetos de avicultura de corte, devido à alta concentração de sólidos, recomenda-se o processo de silagem. Visando a quebra das fibras lignocelulósicas, antes de sua inserção no sistema de biodigestão, conforme ilustrado a Figura 5.4.

**Figura 5.4 – Sistemas de Preparo de Biomassa Residual de Avicultura**



Fonte: CIBiogás

Além dos desafios, já citados sobre sistemas de biodigestão para biomassa residual da avicultura, a cama das aves já possui um mercado consolidado como biofertilizante.

## **5.2 BIODIGESTORES**

O biodigestor é um reator de tratamento anaeróbio, constituído de uma câmara fechada, onde é depositado o material orgânico em solução aquosa. O biogás é produzido durante a fermentação da biomassa no interior do biodigestor, o qual propicia condições controladas de umidade, temperatura, aeração e homogeneidade.

A biodigestão anaeróbia constitui em um processo biológico no qual ocorre a decomposição da matéria orgânica, na ausência de oxigênio, por meio de micro-organismos anaeróbios que sintetizam a matéria orgânica transformando-a em metano e dióxido de carbono, principais componentes do biogás.

O modelo de biodigestor a ser utilizado, assim como o preparo da biomassa, deve atender às especificidades de cada tipo de biomassa. Quanto maior o nível de controle e tecnologia utilizada, maior será a probabilidade de aumento da eficiência do sistema.

### 5.2.1 BIODIGESTOR MODELO VERTICAL RÍGIDO DE FLUXO ASCENDENTE

O biodigestor Modelo Rígido de Fluxo Ascendente (MRFA) é uma variação do UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, ou Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente), tendo como principal diferença a eficiência do tratamento, influenciando no tempo de retenção hidráulica dos biodigestores. Esse modelo é indicado para pequenos volumes de biomassa.

O MRFA possui uma câmara de biodigestão fabricada em fibra de vidro, sistema interno autolimpante, sendo que parte da estrutura fica para fora do solo e parte dela enterrada.

O abastecimento da câmara de biodigestão é realizado pela parte inferior, sendo dimensionado para armazenar a quantidade de dejetos produzidos por 30 dias. No trigésimo dia de retenção, os dejetos são conduzidos por meio de tubulação até uma lagoa de armazenamento do digestato.

**Figura 5.5 – Biodigestor Modelo Rígido de Fluxo Ascendente**



Fonte: CIBiogás

### 5.2.2 BIODIGESTOR “PLUG-FLOW” OU LAGOA COBERTA

Essa tecnologia é a mais difundida para tratamento de dejetos proveniente da pecuária e com várias opções de fornecedores.

Esse biodigestor é constituído usualmente de uma lagoa de formato trapezoidal escavada no solo e revestida com geomembrana, criando assim uma câmara de fermentação para depósito da biomassa, e coberto por uma geomembrana que atua como gasômetro para armazenar o gás gerado.

Esse sistema de biodigestão é do tipo horizontal, e opera em fluxo contínuo. A biomassa tem entrada contínua em uma das extremidades do biodigestor, passa através do mesmo e sai na outra extremidade, na mesma sequência em que entrou. A biomassa permanece no biodigestor por um período igual ao tempo de retenção hidráulica, até sua completa degradação.

**Figura 5.6 – Biodigestor Lagoa Coberta**



Fonte: CIBiogás

### **5.2.3 BIODIGESTÃO DE MISTURA COMPLETA**

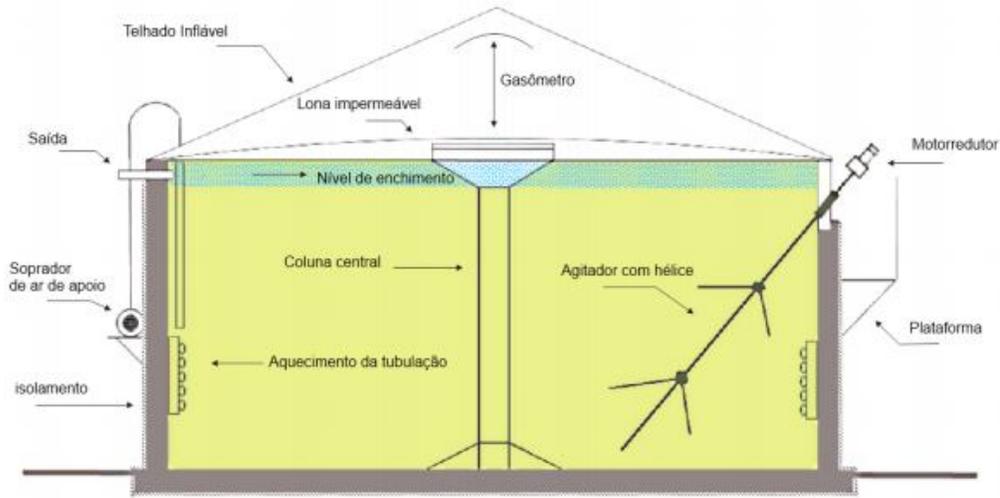
Para o tratamento de efluentes com elevada concentração de sólidos, recomenda-se o biodigestor modelo Mistura Completa, pois proporciona a manutenção de uma biomassa estável no interior do digestor.

Esse sistema é caracterizado pelo ininterrupto processo de alimentação, com fluxo contínuo e elevado grau de mistura do material em digestão, seja por agitadores mecânicos, por injeção de biogás comprimido ou recirculação do material. O modelo apresenta alta eficiência, entretanto, seu custo é elevado para pequenas escalas.

O modelo de Mistura Completa consiste em um tanque vertical com fundo rígido de concreto e paredes de aço, concreto armado ou ainda materiais especiais como polímeros rígidos. Pode ser parcial ou totalmente enterrado ou ser posicionado completamente sobre o solo.

Conta com sistema de aquecimento no interior, isolamento térmico, garantindo mínima perda de calor. É composto também por misturador, controladores de temperatura, vazão, nível, pressão, sistema de controle dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Na Figura 5.8 pode-se observar o aspecto construtivo deste modelo.

**Figura 5.7 - Biorreator de mistura completa com agitador e demais tecnologias**



Fonte: Souza, José *et al.* (2014) – Revista Espacios Digital.

### 5.3 SISTEMA DE ARMAZENAMENTO

No sistema de biodigestão o gásômetro tem a função de armazenar o biogás produzido no biodigestor, com finalidade de equilibrar a vazão de chegada com a vazão de consumo do biogás, evitando interrupções nas operações, como do moto gerador. O dimensionamento do gásômetro depende diretamente da demanda de biogás e, conseqüentemente, da pressão de operação.

O gásômetro consiste basicamente de uma membrana e um sistema de ancoragem. A membrana armazena o biogás e protege contra cargas externas (Figura 5.9).

**Figura 5.8 – Sistema de armazenamento do biogás**



Fonte: CIBiogás

## 5.4 SISTEMA DE TRANSPORTE

A rede coletora de biogás é uma tubulação de polietileno de alta densidade (PEAD) com função de conduzir do biogás até um determinado ponto de consumo.

A rede coletora pode ser utilizado para conectar unidades produtoras de biogás. Sendo composto por ramais primários localizados dentro das propriedades rurais, conectados aos ramais principais que direcionam o biogás até um determinado ponto de consumo.

### 5.4.1 NORMAS REGULAMENTADORAS

O rede coletora para transporte de biogás deve atender, obrigatoriamente, normas técnicas regulamentadas, sendo:

- NBR 14.462 – Sistemas para distribuição de gás combustível em redes enterradas – Tubos de polietileno PE 80 e PE 100 – Requisitos.
- NBR 14.464 – Sistemas para distribuição de gás combustível em redes enterradas – Execução de solda de topo.
- NBR 14.465 – Sistemas de distribuição de gás combustível em redes enterradas – Execução de solda por eletrofusão.
- NBR 14.461 – Sistemas para distribuição de gás combustível para redes enterradas – Tubos e conexões de polietileno PE 80 e PE 100 – Instalação em obra por método destrutivo (vala a céu aberto).
- NBR 15.526 – Redes de distribuição interna para gases combustíveis em instalações residenciais e comerciais – Projeto e Execução.
- NBR 15.358 – Rede de distribuição interna para gás combustível em instalação de uso não residencial de até 400 kPa – Projeto e execução.
- NBR 12.712 – Projeto de sistemas de transmissão e distribuição de gás combustível.

É essencial a instalação de sinalização no traçado da rede coletora de biogás para que se possam obter, de forma simples e rápida, informações sobre sua localização e diferenciação de diâmetros, tendo assim maior segurança.

### 5.4.2 VÁLVULAS DE SEGURANÇA

Dentre os dispositivos que compõe o sistema de transporte do biogás, as válvulas de manobra são instaladas na tubulação com o objetivo de permitir o controle sobre o transporte

de biogás. Por meio destas válvulas, seções da rede coletora de biogás poderão ser fechadas ou abertas, no caso de manutenções, vazamentos de biogás ou acidentes.

O biogás possui grande quantidade de umidade, sendo necessária a remoção do líquido acumulado ao longo da tubulação. Para isso, são instaladas purgas capazes de retirar o acúmulo de água condensada nos pontos mais baixos da tubulação. A localização das purgas pode ser definida com base no perfil de elevação do terreno. Porém, o ideal é verificar o levantamento topográfico da área.

#### **5.4.3 SISTEMA DE COMPRESSÃO**

O compressor é responsável por aumentar a pressão na rede e permitir o transporte do mesmo até o ponto consumidor. Superando as perdas de carga ao longo do percurso e não permitindo que o biogás retorne à propriedade prejudicando o funcionamento do sistema.

Para definição da pressão em que o sistema irá operar, é necessário analisar as condições topográficas de cada área. Para verificar se a pressão utilizada no transporte de determinado volume de biogás será capaz de superar as perdas de cargas ao longo da rede.

#### **5.4.4 TRAÇADO DA REDE COLETORA**

O traçado da rede coletora de biogás é definido a partir de critérios técnicos como: topografia, classe e uso do solo, localização dos pontos de produção e consumo do biogás e características de operação.

Nas travessias de estrada, propõe-se o uso do Método Não Destrutivo (MND), por meio de furo direcional, de forma a minimizar os impactos da implantação, com uma distância mínima entre o topo da rede coletora de biogás e a superfície, que dependerá da pressão que irá operar. O uso deste método depende do conhecimento das redes e tubulações que podem se fazer presentes na área de interesse. Nesse caso haverá a necessidade de um Projeto de Travessia, que deverá ser submetido ao Departamento de Estradas e Rodagens (DER/PR).

### **5.5 DIGESTATO**

A quantidade de digestado gerado é aproximadamente 5% menor que o volume total da biomassa residual inserida no biodigestor.

Para armazenamento desse produto, é necessário a instalação de lagoas compactadas e impermeabilizadas com lonas de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) ou PVC, evitando o contato direto e a infiltração do digestato no solo, como demonstrado na Figura 5.9.

**Figura 5.9 – Lagoa de Armazenamento de Digestato**



Fonte: CIBiogás

## 5.6 BIOFERTILIZANTE

O biofertilizante é o adubo líquido resultante da fermentação dos dejetos, com a presença de outros resíduos orgânicos, como a palha ou maravalha. A fermentação ocorre em ambiente sem a presença de oxigênio, retirando a carga orgânica, contudo, mantendo os nutrientes como Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K).

Apesar do biodigestor realizar o tratamento da biomassa, é necessário que o digestato seja estabilizado antes de ser aplicada à lavoura. Essa ação impede a liberação de gás metano para a atmosfera e, principalmente, evita que seja aplicado biofertilizante com possíveis patógenos em sua composição. A Tabela 5.1, apresenta valores referenciais para os nutrientes das diferentes biomassas estudadas neste projeto.

**Tabela 5.1 - Referenciais para os nutrientes das diferentes biomassas**

<b>Nutrientes</b>	<b>Aves</b>	<b>Bovinos</b>	<b>Suínos</b>
Nitrogênio (N) – Kg/m <sup>3</sup>	14,1	0,9	1,2
Uréia (45%N) – Kg/m <sup>3</sup>	31,4	2,0	2,7
Fósforo (P) – Kg/m <sup>3</sup>	6,2	0,2	0,0
Superfosfato Simples (18% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) – Kg/m <sup>3</sup>	34,2	1,1	0,1
Potássio (K) – Kg/m <sup>3</sup>	12,0	1,1	1,0
Cloreto De Potássio (60% De K <sub>2</sub> O) – Kg/m <sup>3</sup>	20,0	1,9	1,7

Fonte: EMBRAPA/CIBiogás

As recomendações baseiam-se no tipo de cultura que será plantada na área e na capacidade que o solo possui para receber a carga a qual será submetido - capacidade de resiliência.

Devido às altas concentrações de alguns nutrientes como Cu e Zn na biomassa dos suínos, é necessário que se realize análises de solo periodicamente.

### 5.6.1 APLICAÇÃO DO BIOFERTILIZANTE

Após o seu período de estabilização, a aplicação do biofertilizante pode ser feita de forma direta, ou seja, sem nenhum tipo de processamento prévio para separação da parte líquida e sólida.

O biofertilizante deve ser aplicado com equipamentos adequados em relação a quantidade desejada e o tipo de situação. Para aplicações massivas pode se utilizar o tanque acoplado ao trator, com um dispositivo de chapa metálica que realiza a aspensão, ou realizar a fertirrigação por meio de tubulações.

**Figura 5.10 – Sistemas de Aplicação de Biofertilizante**



Fonte: CIBiogás

## 5.7 SISTEMA DE PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS

O biogás é uma mistura gasosa resultante da decomposição anaeróbia da matéria orgânica, composta de metano (50% - 75% em volume) e dióxido de carbono (25% - 50% em volume), o qual contém ainda pequenas quantidades de hidrogênio, sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), amônia e traço de outros gases.

O tratamento do biogás é fundamental para eficiência no aproveitamento energético do biogás. Para geração de energia elétrica e térmica, recomenda-se realizar de um processo de filtragem e para produção de biometano o processo de refino. A diferença entre

os processos é a qualidade final do biogás. Onde nos processos de filtragem são retirados o H<sub>2</sub>S e umidade, e no refino, além de tais elementos, é retirado o CO<sub>2</sub>.

Na análise para escolha do sistema de purificação são levadas em conta: as tecnologias disponíveis do mercado, custo operacional, custo de aquisição, instalação, manutenção, qualidade requerida, quantidade de biogás a ser filtrado, entre outros.

### **5.7.1 SISTEMA DE REMOÇÃO DE H<sub>2</sub>S**

A concentração de H<sub>2</sub>S no biogás pode variar em decorrência de inúmeros fatores, desde o tipo de matéria que o biodigestor é alimentado até a frequência de alimentação. Por exemplo, dejetos oriundos da suinocultura geralmente a concentração de H<sub>2</sub>S está entre 2000 a 7.000 ppm. Nessa concentração o gás é extremamente corrosivo e compromete a vida útil de sensores, atuadores, motores, queimadores e demais componentes. Dessa forma, recomenda-se a instalação de um sistema de filtragem do biogás a fim de reduzir a concentração do elemento a níveis para aceitáveis para uso nos equipamentos.

### **5.7.2 SISTEMA DE REFINO**

Quando há a necessidade e/ou viabiliza-se refinar o biogás a nível de biometano, sistemas de refino são empregados. O refino ocorre em duas etapas, a primeira consiste na dessulfurização e a segunda tem como objetivo retirar o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Ao final do processo o biogás refinado (Biometano) terá grande concentração de Metano, ou seja, terá seu potencial energético potencializado.

O biometano aplicado como combustível veicular é um exemplo da necessidade e viabilidade em refinar o biogás. Para ser utilizado como combustível veicular, deve atender à normativa da Agência Nacional de Petróleo - ANP n°08.

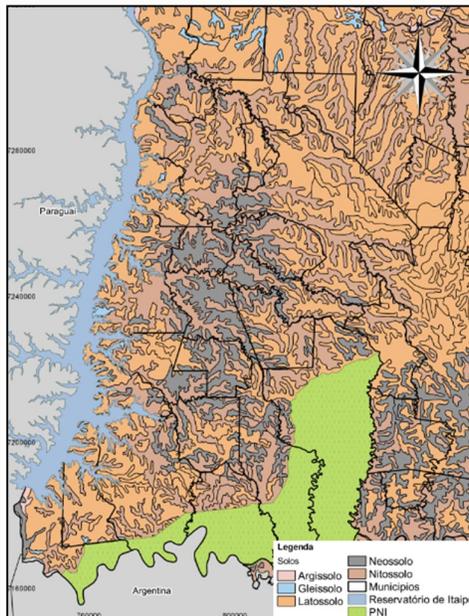
## **5.8 GESTÃO TERRITORIAL**

Para complementar os levantamentos de informações técnicas para implantação de projetos de produção e aproveitamento energético do biogás, a análise do tipo solo de cada região é necessária para identificar as limitações para a definição do arranjo tecnológico a ser considerado. Por exemplo, solos rasos são limitantes para uso de biodigestores do tipo lagoa coberta e afetam os custos de implantação em razão da necessidade de sondagem, laudos de compactação de solos, entre outros. Essas características afetam, ainda a implantação de estruturas abaixo do nível do solo, os custos das fundações de estruturas,

caso necessário, bem como custo e tempo para trabalhos de escavação de tubulações e infraestrutura elétrica, além da questão de drenagem pluvial e sistema de proteção de descargas atmosféricas. Solos arenosos ou rochosos podem dificultar a implantação de plantas de biogás, por exemplo.

Na Figura a seguir é apresentado os tipos de solo da região Oeste do Estado do Paraná.

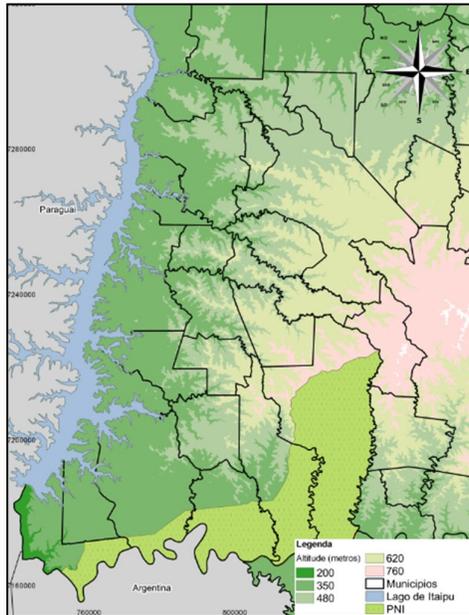
**Figura 5.11 – Solos do Oeste do Estado do Paraná**



Fonte: CIH/CIBiogás

É importante também avaliar o nível topográfico da região, uma vez que o transporte do efluente da biomassa dentro das propriedades deve utilizar ao máximo o desnível da propriedade, evitando custos de bombeamento. Para o dimensionamento das redes coletoras de biogás, caso necessária, o desnível é fator importante para o dimensionamento e investimento.

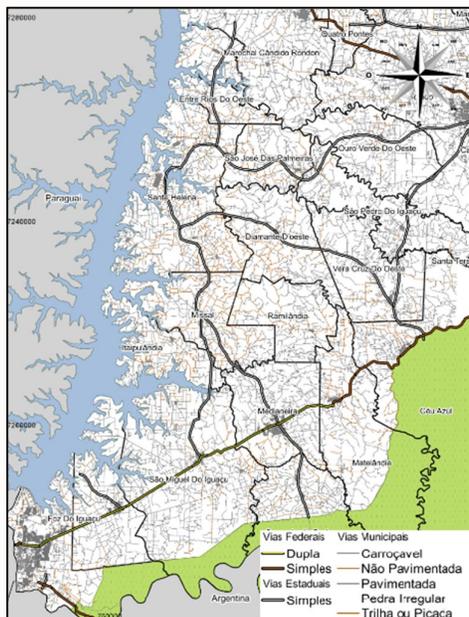
**Figura 5.12 - Nível Topográfico**



Fonte: CIH/CIBiogás

Outro item a ser avaliado é a localização das rodovias, pois está ligada à logística de transporte, seja ela por rede coletora ou transporte rodoviário. Identificar a rede permite identificar as rotas possíveis e dimensionar custos.

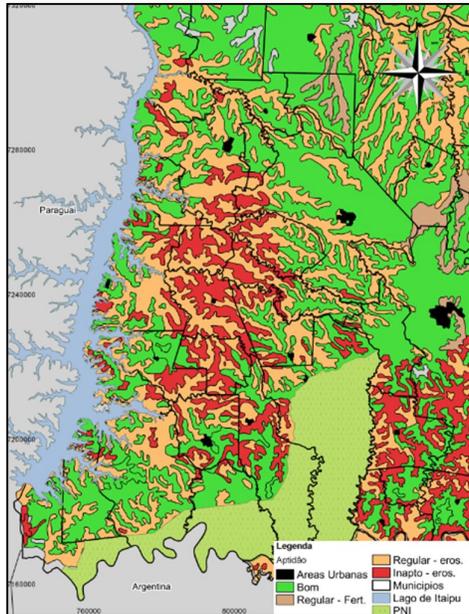
**Figura 5.13 - Localização das rodovias federais e municipais**



Fonte: CIH/CIBiogás

Os mapas de aptidão agrícola regional são necessários pois complementam os projetos de biogás, um dos produtos é o biofertilizante, que deve ser destinado corretamente e para isso precisa de áreas aptas ao plantio e pasto, servindo como complemento aos processos de fertilização e condicionamento de solo.

**Figura 5.14 - Aptidão agrícola**



Fonte: CIH/CIBiogás

## **6. LINHAS DE FINANCIAMENTO**

A abertura de crédito para o setor energético é parte das estratégias de governo para promover o desenvolvimento econômico do País. As condições de pagamentos variam de acordo com o valor do financiamento e do plano contratado.

A seguir são apresentadas linhas de financiamento com foco na geração de energia renovável e tratamento da biomassa residual.

### **6.1 PRONAF ECO SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL**

- Público: agricultores familiares que comprovem seu enquadramento mediante apresentação da Declaração de Aptidão ao PRONAF (DAP).
- Finalidade: investimento para geração de energia renovável a partir da biomassa residual.
- Crédito: até R\$ 165 mil por ano agrícola.
- Taxa de juros: 2,5% ao ano.
- Prazo de reembolso: até 10 anos, com até 3 anos de carência, que poderá ser ampliada para até 5 anos quando a atividade assistida requerer esse prazo, conforme cronograma estabelecido no respectivo projeto técnico.

### **6.2 PROGRAMA ABC - PROGRAMA PARA REDUÇÃO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA AGRICULTURA**

- Público: produtores rurais (pessoas físicas ou jurídicas), e suas cooperativas, inclusive para repasse a cooperados.
- Finalidade: implantação, manutenção e melhoramento de sistemas de tratamento de dejetos e resíduos oriundos de produção animal para geração de energia.
- Crédito: o BNDES financia até 100% do valor dos investimentos financiáveis, observado o limite de até R\$ 2,2 milhões por cliente, por ano-safra.
- Taxa de juros: 8% ao ano (a.a.) para produtores que se enquadrem como beneficiários do Pronamp e 8,5% a.a., para os demais casos.
- Prazo de reembolso: até 10 anos, incluindo carência de até 5 anos.

### **6.3 PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO COOPERATIVO PARA AGREGAÇÃO DE VALOR À PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA - PRODECOOP**

- Público:
  - cooperativas singulares de produção agropecuária, agroindustrial, aquícola ou pesqueira.
  - cooperativas centrais formadas exclusivamente por cooperativas de produção agropecuária, agroindustrial, aquícola ou pesqueira.
  - produtores rurais, pessoas físicas ou jurídicas, associados a essas cooperativas, para integralização de quotas-parte vinculadas ao projeto a ser financiado.
- Finalidade: incrementar a competitividade do complexo agroindustrial das cooperativas brasileiras, por meio da modernização dos sistemas produtivos e de comercialização.
- Credito: até 90% do valor do projeto, obedecido o limite de R\$ 110 milhões por cooperativa, em uma ou mais operações, independentemente do nível de faturamento bruto anual verificado no último exercício fiscal. O limite pode ser elevado para até R\$ 150 milhões, quando os recursos adicionais forem destinados a empreendimentos da própria cooperativa em outras unidades da federação, ou a empreendimentos realizados no âmbito de cooperativa central.
- Taxa de juros: para operações de financiamento à aquisição de ativos operacionais de empreendimentos já existentes, inclusive o terreno no qual está instalado o empreendimento, relacionados às ações enquadradas, inclusive por meio do apoio à integralização de quotas-parte de seus associados: TJLP + 4,5 % ao ano (a.a.) e para as demais operações: 9,5% a.a.
- Prazo de reembolso: até 12 anos, incluída carência de até 3 anos. Este prazo de carência pode ser estendido para o pagamento dos juros, caso o projeto demonstre essa necessidade.

### **6.4 PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DA AGRICULTURA E CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS - MODERAGRO**

- Público: produtores rurais (pessoas físicas ou jurídicas) e suas cooperativas, inclusive para repasse a seus cooperados.

- Finalidade: investimentos necessários ao tratamento de dejetos relacionados às atividades que se dediquem à exploração de criação animal
- Credito:
  - Empreendimento individual: até R\$ 880 mil, por cliente;
  - Empreendimento coletivo: até R\$ 2,64 milhões, respeitado o limite individual por participante.
- O Banco financia até 100% do valor dos itens financiáveis.
- Taxa de juros: 9,5% ao ano.
- Prazo de reembolso: até 10 anos, incluída a carência de até 3 anos.

## **6.5 PROGRAMA DE INCENTIVO À INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA – INOVAGRO**

- Público: Produtores rurais (pessoas físicas ou jurídicas) e cooperativas de produção rurais.
- Finalidade: implantação de sistemas para geração e distribuição de energia alternativa à eletricidade convencional, para consumo próprio, observado que o projeto deve ser compatível com a necessidade de demanda energética da atividade produtiva instalada na propriedade rural.
- Credito: R\$ 1,1 milhão por cliente, para empreendimento individual, e R\$ 3,3 milhões para empreendimento coletivo, respeitado o limite individual por participante. O Banco financia até 100% do valor do projeto.
- Taxa de juros: 8,5% a.a.
- Prazo de reembolso: Até 10 anos, com carência de até 3 anos.

## 7. POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

A estimativa de produção de biogás está pautada na metodologia desenvolvida pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), adaptada pelo CIBiogás para a região Oeste do Estado do Paraná.

Assim como a produção de dejetos, a produção de biogás é influenciada por diversos fatores como tipo de biomassa, temperatura ambiente, quantidade de sólidos – totais e voláteis, quantidade de água presente na biomassa, tipo de sistema de biodigestão e quantidade de material inerte.

Os dados usados como base para o cálculo da estimativa de produção de biogás são apresentados a seguir, na Tabela 7.1.

**Tabela 7.1 – Estimativa de Produção de Biogás por Kg de Dejeito**

<b>Categoria</b>	<b>Produção de Biogás (m<sup>3</sup>/Kg)</b>
Bovinos	0,01
Aves	0,11
Suínos	0,03

Fonte: CIBiogás

Dessa forma, a partir dos dados compilados, foi estimado o volume de biogás, produzido a partir dos dejetos dos animais que contemplam o plantel da Cooperativa, apresentados pela Tabela 7.2.

**Tabela 7.2 – Estimativa de Produção de Biogás por Categoria de Produção Pecuária**

<b>Categoria</b>	<b>Produção de Biogás (m<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>%</b>
Bovinos	1.164.170	6%
Suínos	6.953.650	35%
Aves	11.719.800	59%
<b>Total</b>	<b>19.837.620</b>	<b>100,0</b>

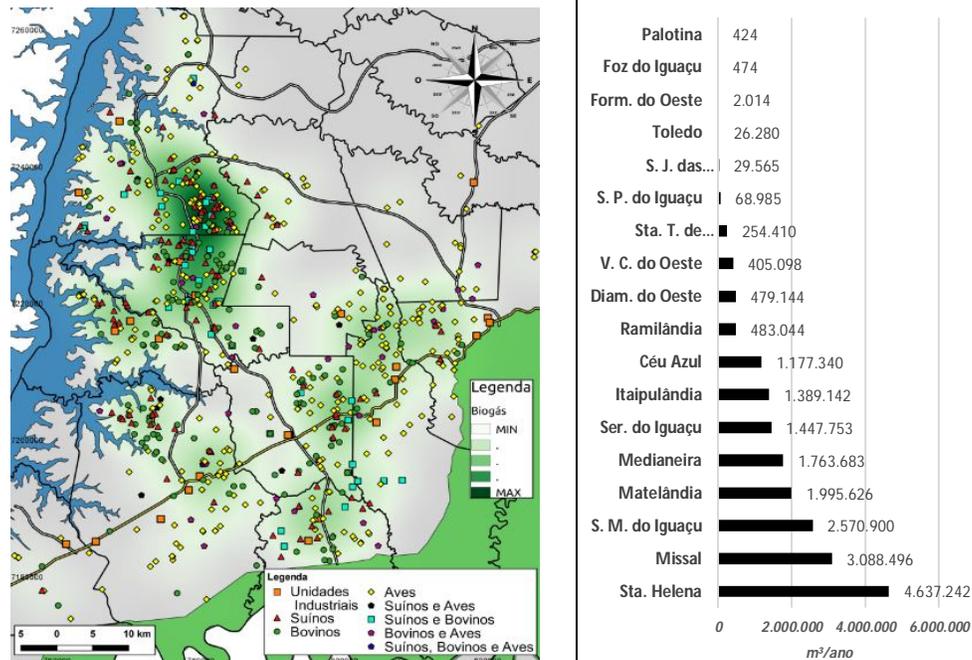
Fonte: CIBiogás

Mesmo a suinocultura possuindo o maior volume de dejetos, a avicultura é a que apresenta maior potencial de produção de biogás. Muito, pelo fato do alto nível de sólidos voláteis na sua composição, fator primordial para a produção de biogás. Entretanto a produção de biogás a partir da cama de aviário ainda passa por definição de arranjo tecnológico, com poucas opções operacionais validadas no mercado, conforme apresentando no Item 4.1.2 – Dejetos de Avicultura.

Os indicadores de potencial de produção podem variar em função das condições operacionais de campo.

A Figura 7.1 apresenta geograficamente onde estão localizadas as maiores concentrações do potencial de produção de biogás gerado a partir da biomassa residual das 3 categorias agropecuárias em avaliação.

**Figura 7.1 – Volume Estimado de Biogás por Município**



Fonte: CIH/CIBiogás

## 7.1 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR CLASSE AGROPECUÁRIA

Para a estimativa mais precisa da produção de biogás, é necessário caracterizar a biomassa residual. Dessa forma, o LABiogás e o CIBiogás possuem dados referenciais baseados em fontes científicas e estudos de casos, utilizados para estimar com maior assertividade o real potencial de produção de biogás provenientes de diferentes biomassas residuais. Das biomassas consideradas no estudo, são apresentados os dados referenciais nas Tabelas 7.3 e 7.4.

**Tabela 7.3 – Caracterização da Biomassa Residual de Bovinos de Leite e Suinocultura em Terminação**

<b>Parâmetros</b>	<b>Bovinos de Leite</b>	<b>Suinocultura – Terminação</b>
PM - Peso médio (Kg)	500	69
Ppadrão – Peso padrão (kg) *	500	50
TC - Período de confinamento (h/dia) **	4	330
PC- Período de confinamento (dia/ano)	305	0,30
SV - Sólidos voláteis padrões IPCC - (kg SV/cab/dia) ***	4	0,29
B0 - Capacidade máxima de produção de metano (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg SV)****	0,18	0,29

Fonte: LABiogás/CIBiogás

\*média entre os dados do Oeste Europeu (Western Europe) e da América Latina. Os dados do Oeste Europeu são aplicados, pois os padrões de tecnologia de produção de bovinos da região Sul do Brasil é maior do que a média da América Latina;

\*\*Parâmetro ajustável conforme necessidade;

\*\*\*média entre os dados do Oeste Europeu e da América Latina;

\*\*\*\*média entre os dados do Oeste Europeu e da América Latina. Os dados do Oeste Europeu são aplicados, pois os padrões de tecnologia de produção de bovinos da região Sul do Brasil é maior do que a média da América Latina.

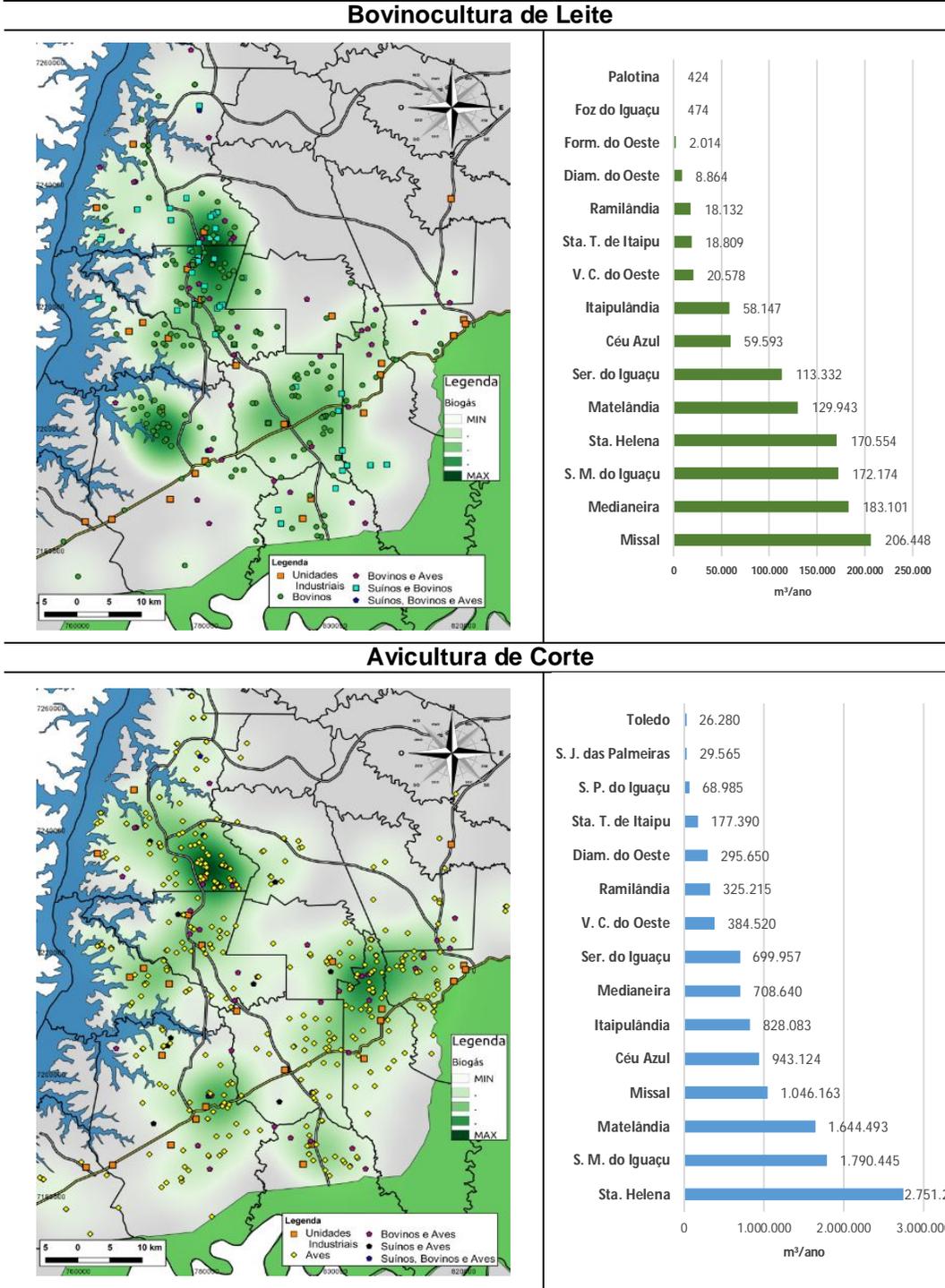
**Tabela 7.4 – Caracterização da Biomassa Residual de Bovinos de Leite e Suinocultura em Terminação**

<b>Parâmetros</b>	<b>Avicultura de Corte</b>
TC - Disponibilidade de cama de frango (dias/ano)	365
ST – Sólidos Totais (%)	76
SV - Sólidos Voláteis	77
B (m <sup>3</sup> biogás/kg SV)	0,35
M (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg SV)	0,13

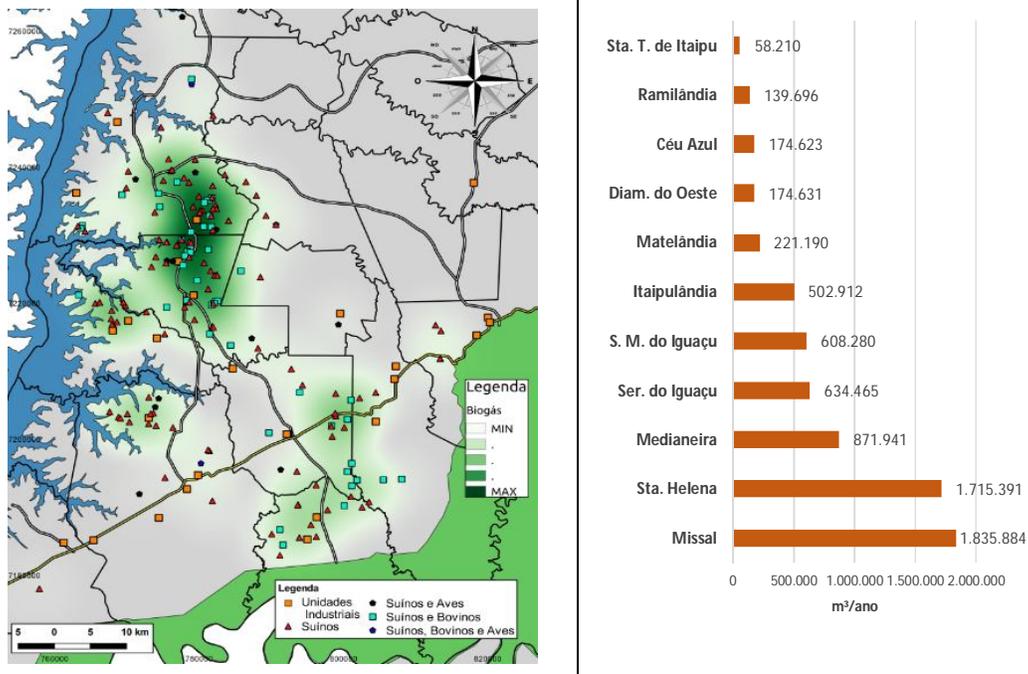
Fonte: LABiogás/CIBiogás

A partir das informações de caracterização e quantificação da biomassa residual, foi possível calcular a estimativa de produção de biogás. Avaliando os diferentes sistemas de produção pecuária em questão, para cada unidade de produção e conseqüentemente para cada município de atuação da Cooperativa, demonstrados na Figura 7.2 a seguir.

**Figura 7.2 – Produção Estimada de Biogás**



### Suinocultura



Fonte: CIH/CIBiogás

O município de Santa Helena, considerando as três cadeias produtivas - bovinocultura de leite, suinocultura e avicultura de corte, apresentou o maior potencial de produção de biogás, estimado em 4.637.242 m³/ano. O segundo município, Missal, apresentou um potencial de 3.088.495 m³/ano de biogás. O terceiro município, São Miguel do Iguaçu, com potencial de 2.570.899 m³/dia de biogás, seguido por Matelândia, com potencial de produção de 1.995.626 m³/dia de biogás.

## 8. ESTIMATIVA DE REDUÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA

Os Gases do Efeito Estufa (G.E.E.) são provenientes dos mais diversos tipos de atividades poluidoras como indústrias, automóveis e a pecuária.

No caso específico deste projeto, o principal gerador de G.E.E. é o proveniente de dejetos de atividades da pecuária, armazenados em lagos sem cobertura adequada. Dessa forma, o gás produzido pela degradação da matéria orgânica, fica livre se mesclando com os gases presentes na atmosfera, poluindo e degradando o ar atmosférico.

Com a utilização do sistema de biodigestão, o gás produzido é captado, evitando que seja liberado para a atmosfera. Mesmo realizada somente a queima do biogás, o efeito nocivo é 25 vezes menor do que o gás emitido diretamente à atmosfera (MELADO, J., 2007).

O resultado esperado para um projeto de tratamento de dejetos pela digestão anaeróbia é uma redução significativa das emissões de gases do efeito estufa (GEE). Desta forma, promove-se a sustentabilidade na pecuária. Trazendo benefícios sociais e ambientais, transformando práticas de acúmulo de dejetos altamente emissores de gases poluentes em fonte de energia.

De acordo com os cálculos realizados, a emissão total dos pontos de produção de dejetos, que fazem uso das lagoas anaeróbias de armazenamento, totalizam 167.317 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano, conforme demonstrado na Tabela 8.1.

**Tabela 8.1 – Emissão de CO<sub>2</sub>**

#	Município	Sem Sistema de Biodigestão (tCO <sub>2</sub> e/ano)	Com sistema de Biodigestão (tCO <sub>2</sub> e/ano)	Redução (tCO <sub>2</sub> e/ano)
1	Santa Helena	39.148	3.915	35.233
2	Missal	26.073	2.607	23.466
3	S. M. do Iguaçu	21.704	2.170	19.533
4	Matelândia	16.847	1.685	15.162
5	Medianeira	14.889	1.489	13.400
6	Ser. do Iguaçu	12.222	1.222	11.000
7	Itaipulândia	11.727	1.173	10.554
8	Céu Azul	9.939	994	8.945
9	Ramilândia	4.078	408	3.670
10	Diam. do Oeste	4.045	404	3.640
11	V. C. do Oeste	3.420	342	3.078
12	Sta. T. de Itaipu	2.148	215	1.933
13	S. P. do Iguaçu	582	58	524
14	S. J. das Palmeiras	250	25	225
15	Toledo	222	22	200
16	Form. do Oeste	17	2	15
17	Foz do Iguaçu	4	0	4
18	Palotina	4	0	3
<b>Total</b>		<b>167.319</b>	<b>16.731</b>	<b>150.585</b>

Fonte: CIBiogás/2015

Para exemplificação, um veículo 1.0 (16 válvulas), flex, percorrendo em média 1.200 km/mês, ou 40 km/dia, emitem 2,6 ton de CO<sub>2</sub>/ano. Portanto, os valores atuais de emissão de CO<sub>2</sub> provenientes das três atividades pecuárias citadas correspondem à aproximadamente 65.000 veículos. Mais do que a frota dos municípios de Medianeira, Santa Helena e São Miguel do Iguaçu somadas, totalizando 63.866 veículos (DETRAN, 2015).

Com a implementação dos sistemas de biodigestão nas propriedades rurais, estima-se uma redução das emissões dos gases de efeito estufa em 90%, ou seja, reduziria as emissões de 167.317 ton CO<sub>2</sub>/ano para 16.732 ton CO<sub>2</sub>/ano.

## 9. ARRANJOS ENERGÉTICOS

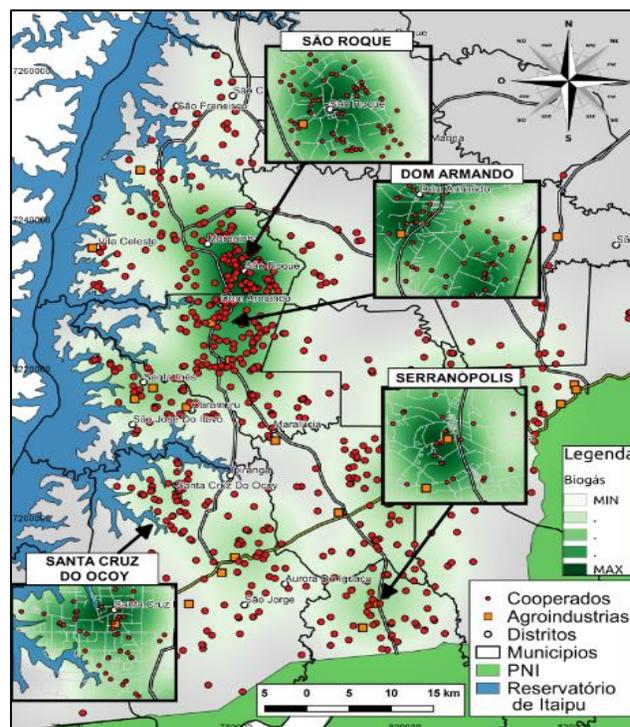
Os arranjos energéticos foram definidos a partir da correlação do potencial da oferta de energia, com a demanda energética das unidades industriais da Lar.

Na oferta, foram correlacionados dados das unidades de produção agropecuárias: (i) Localizações geográficas; (ii) Potenciais de produção de dejetos e biogás; e (iii) Potencial de geração de energia – térmica, elétrica e veicular. Com as informações georreferenciadas foram identificadas as áreas de maior potencial de produção de biogás utilizando o geoprocessamento dos dados e consolidação de mapas de calor.

Na demanda foi levado em conta as necessidades energéticas das unidades de produção industriais da Cooperativa Lar e suas coordenadas geográficas.

Dessa forma, foi possível identificar 4 arranjos em potencial, localizados em: (i) Santa Helena - São Roque; (ii) Missal – Dom Armando; (iii) São Miguel do Iguaçu – Sta. Cruz do Ocoy; e (iv) Serranópolis do Iguaçu, apresentados da Figura 9.1 a seguir.

**Figura 9.1 – Arranjos Energéticos Selecionados**



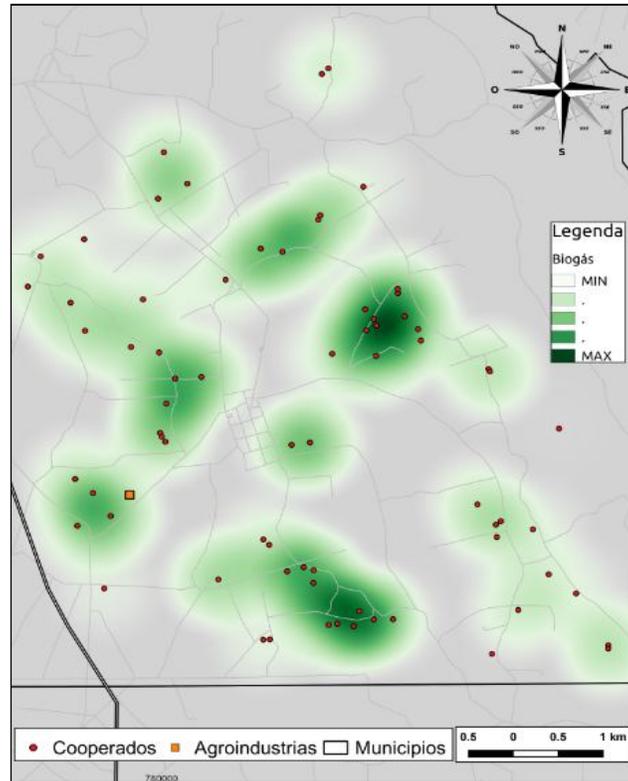
Fonte: CIH/CIBiogás

### 9.1 ARRANJO ENERGÉTICO DE SÃO ROQUE

Neste arranjo é proposto a interação de 72 propriedades rurais localizadas no município de Santa Helena, onde há criação de aves de corte, bovinos de leite e suínos em

terminação. A Figura 9.2 apresenta a disposição das 72 propriedades que compõe o arranjo energético.

**Figura 9.2 - Arranjo energético – Santa Helena**



Fonte: CIH/CIBiogás

A partir do plantel animal, foi estimado o potencial de produção de dejetos e biogás para o arranjo em questão. Os valores são apresentados na Tabela 9.1 a seguir.

**Tabela 9.1 – Potencial teórico de produção de dejetos e biogás -Arranjo São Roque**

<b>Categoria</b>	<b>Plantel</b>	<b>Produção de Dejetos</b>	<b>Produção de Biogás</b>
Aves	1.078.200	29 m <sup>3</sup> /dia	2.696 m <sup>3</sup> /dia
Suínos	12.020	84 m <sup>3</sup> /dia	1.959 m <sup>3</sup> /dia
Bovinos	734	8 m <sup>3</sup> /dia	108 m <sup>3</sup> /dia
<b>TOTAL</b>		<b>120,5m<sup>3</sup>/dia</b>	<b>4.762 m<sup>3</sup>/dia</b>

Fonte: CIBiogás

Neste arranjo a atividade de avicultura se destaca com o maior potencial teórico de produção de biogás, representando aproximadamente 56%. Diferentemente da categoria da bovinocultura de leite, responsável por somente 2% do total.

Diante do potencial total de produção de 4.762 m<sup>3</sup>/dia de biogás, estimou-se o potencial de substituição energética, conforme apresentado na Tabela 9.2.

**Tabela 9.2 - Potencial de substituição energética**

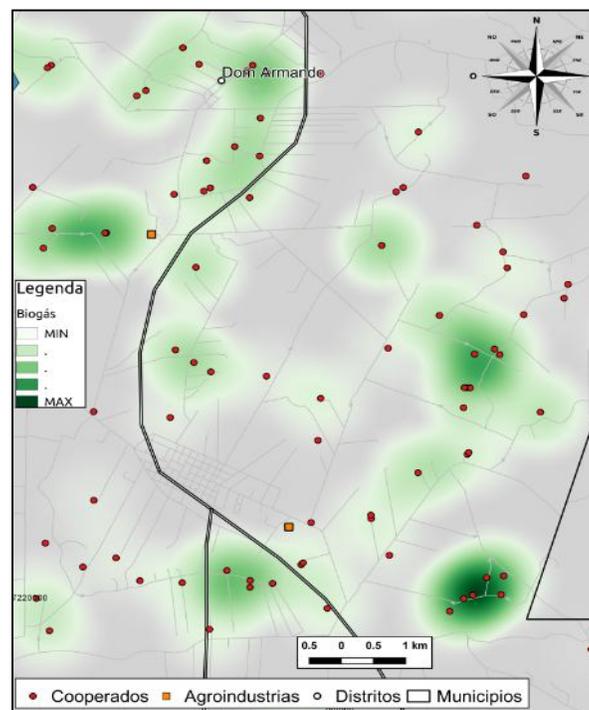
<b>Energia Elétrica</b>	<b>Biomassa Florestal</b>	<b>GLP</b>	<b>Gasolina</b>
7.620 kWh/dia	7.143 kg/dia	1.905 kg/dia	2.857 L/dia

Fonte: CIBiogás

## 9.2 ARRANJO ENERGÉTICO DOM ARMANDO

Neste arranjo é proposto a interação de 92 propriedades rurais, onde há criação de aves de corte, bovinos de leite e suínos em terminação. Na Figura a seguir pode-se observar a disposição das 92 propriedades que compõe o arranjo energético, localizado no município de Missal.

**Figura 9.3 1- Arranjo energético - Dom Armando**



Fonte: CIH/CIBiogás

A partir do plantel animal, estimou-se o potencial de produção de dejetos e biogás, conforme apresentado na Tabela 9.3 a seguir.

**Tabela 9.3 – Potencial teórico de produção de dejetos e biogás**

<b>Categoria</b>	<b>Plantel</b>	<b>Produção de Dejetos</b>	<b>Produção de Biogás</b>
Aves	708.560	19 m <sup>3</sup> /dia	1.771 m <sup>3</sup> /dia
Suínos	25.570	179 m <sup>3</sup> /dia	4.168 m <sup>3</sup> /dia
Bovinos	1.130	12 m <sup>3</sup> /dia	166 m <sup>3</sup> /dia
<b>TOTAL</b>	<b>-</b>	<b>210 m<sup>3</sup>/dia</b>	<b>6.105 m<sup>3</sup>/dia</b>

Fonte: CIBiogás

Diferentemente do arranjo de São Roque, em Dom Armando a suinocultura possui o maior potencial de produção de biogás, representando aproximadamente 68% do total. Novamente a bovinocultura de leite possui pouca influência do potencial total, com apenas 3%.

Diante do potencial de produção de 6.105 m<sup>3</sup>/dia de biogás, estimou-se o potencial de substituição energética, conforme apresentado na Tabela 9.4.

**Tabela 9.4 - Potencial de substituição energética**

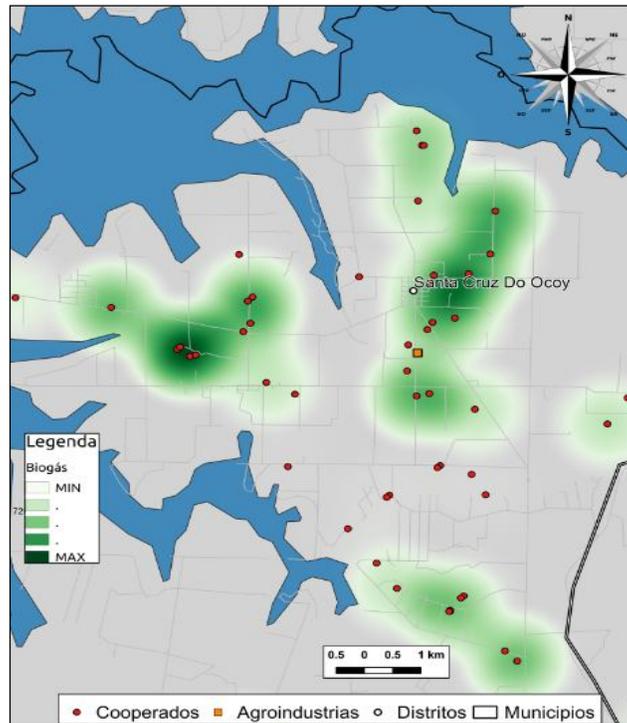
<b>Energia Elétrica</b>	<b>Biomassa Florestal</b>	<b>GLP</b>	<b>Gasolina</b>
9.768 kWh/dia	9.157 kg/dia	2.442 kg/dia	3.663 L/dia

Fonte: CIBiogás

### **9.3 ARRANJO ENERGÉTICO DE SANTA CRUZ DO OCOY**

Neste arranjo é proposta a interação de 50 propriedades rurais, onde há criação de aves de corte e suínos em terminação. Na Figura 9.4 a seguir pode-se observar a disposição das propriedades que compõe o arranjo energético, localizado no município de São Miguel do Iguaçu.

**Figura 9.4 2- Arranjo energético - Santa Cruz do Ocoy**



Fonte: CIH/CIBiogás

A partir do plantel animal, estimou-se o potencial de produção de dejetos e biogás. Os valores são apresentados na Tabela 9.5 a seguir.

**Tabela 9.5 – Potencial teórico de produção de dejetos e biogás**

<b>Categoria</b>	<b>Plantel</b>	<b>Produção de Dejetos</b>	<b>Produção de Biogás</b>
Aves	357.272	9 m <sup>3</sup> /dia	893 m <sup>3</sup> /dia
Suínos	7.950	56 m <sup>3</sup> /dia	1.296 m <sup>3</sup> /dia
Bovinos	1.175	13 m <sup>3</sup> /dia	172 m <sup>3</sup> /dia
<b>TOTAL</b>	-	<b>78 m<sup>3</sup>/dia</b>	<b>2.407 m<sup>3</sup>/dia</b>

Fonte: CIBiogás

Dentre os arranjos estudados, Sta. Cruz do Ocoy possui o menor potencial teórico de produção de biogás. A suinocultura é destaque com um potencial mais representativo em relação às outras atividades pecuárias, atingindo 54% do total.

Diante do potencial de produção de 2.407 m<sup>3</sup>/dia de biogás, estimou-se o potencial de substituição energética, conforme apresentado na Tabela 9.6.

**Tabela 9.6 - Potencial de substituição energética**

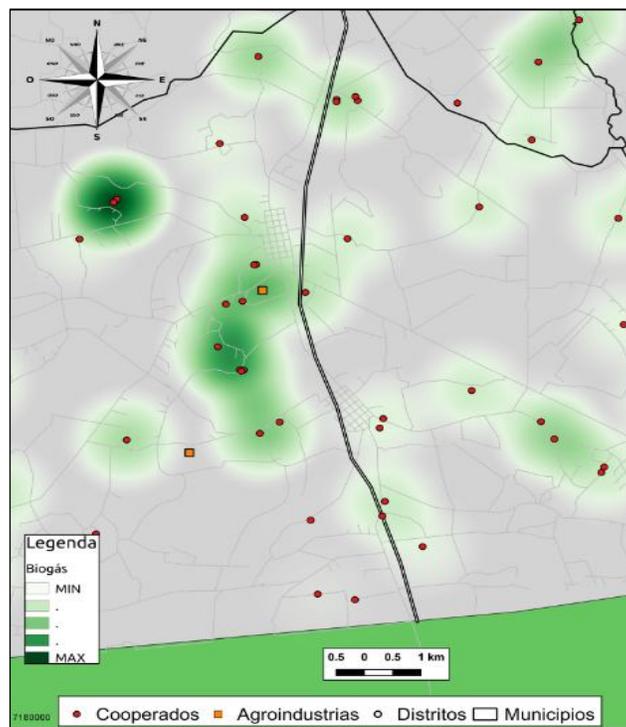
<b>Energia Elétrica</b>	<b>Biomassa Florestal</b>	<b>GLP</b>	<b>Gasolina</b>
3.851 kWh/dia	3.610 kg/dia	963 kg/dia	1.444 L/dia

Fonte: CIBiogás

#### 9.4 ARRANJO ENERGÉTICO DE SERRANÓPOLIS DO IGUAÇU

Neste arranjo é proposto a interação de 41 propriedades rurais, onde há a criação de bovinos de leite e suínos em terminação. Na Figura 9.5 a seguir pode-se observar a disposição das que compõe o arranjo energético.

**Figura 9.5 - Arranjo energético - Serranópolis do Iguaçu**



Fonte: CIH/CIBiogás

A partir do plantel animal, estimou-se o potencial de produção de dejetos e biogás, conforme apresentado na Tabela 9.7 a seguir.

**Tabela 9.7 – Potencial teórico de produção de dejetos e biogás**

<b>Categoria</b>	<b>Plantel</b>	<b>Produção de Dejetos</b>	<b>Produção de Biogás</b>
Aves	719.100	19 m <sup>3</sup> /dia	1.798 m <sup>3</sup> /dia
Suínos	7.400	52 m <sup>3</sup> /dia	1.206 m <sup>3</sup> /dia
Bovinos	492	5 m <sup>3</sup> /dia	72 m <sup>3</sup> /dia
<b>Total</b>	<b>-</b>	<b>76 m<sup>3</sup>/dia</b>	<b>3.076 m<sup>3</sup>/dia</b>

Fonte: CIBiogás

O potencial teórico de produção de biogás das categorias de avicultura e suinocultura são semelhantes, com uma diferença de apenas 592m<sup>3</sup>/dia. Como demonstrado em todos os cenários, a bovinocultura no arranjo de Sta. Cruz do Ocoy, também possui a menor representatividade com apenas 2% do total.

Diante do potencial de produção de 3.076 m<sup>3</sup>/dia de biogás, estimou-se o potencial de substituição energética, conforme apresentado na Tabela 9.8.

**Tabela 9.8 - Potencial de substituição energética**

<b>Energia Elétrica</b>	<b>Biomassa Florestal</b>	<b>GLP</b>	<b>Gasolina</b>
4.922 kWh/dia	4.614 kg/dia	1.230 kg/dia	1.846 L/dia

Fonte: CIBiogás

## 9.5 SELEÇÃO DO ARRANJO TÉCNICO

Para a escolha do arranjo com potencial de implantação foi necessário realizar uma avaliação comparativa entre os cenários estudados. Dessa forma, a seguir é apresentado, na Tabela 9.9, a compilação do plantel, potencial de produção de dejetos e de biogás. Esses indicadores são uma primeira referência para a seleção.

**Tabela 9.9 – Plantel animal e potencial de produção de dejetos e biogás por arranjo**

<b>Arranjo</b>	<b>Plantel</b>			<b>Produção de Dejetos (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>Produção de Biogás (m<sup>3</sup>/dia)</b>
	<b>Aves</b>	<b>Suínos</b>	<b>Bovinos</b>		
Dom Armando	708.560	25.570	1.130	210	6.105
São Roque	1.078.200	12.020	734	120,5	4.762
Serranópolis	719.100	7.400	492	76	3.076
Sta. Cruz do Ocoy	357.272	7.950	1.175	78	2.407

Fonte: CIBiogás

O arranjo em Santa Helena foi selecionado pois apresentou melhor viabilidade técnica para implantação dos sistemas necessários que compõem um arranjo para aproveitamento energético do biogás.

A partir da seleção do arranjo técnico em Santa Helena, foi selecionada a região de São Roque como foco para implantação de um projeto, devido aos fortes odores decorrentes da produção pecuária, presente na região, e, pela proximidade das propriedades rurais, favorecendo tanto a viabilidade técnica, como a financeira.

## **10. ESTUDO DE CASO – SÃO ROQUE**

Dentre os arranjos apresentados no capítulo anterior, foi selecionado um em potencial para definição de cenário e estudo de viabilidade técnica/econômica (EVTE).

A seleção do arranjo para detalhamento, tomou como referência 2 pontos principais. O primeiro, a concentração de unidades de produção agropecuárias e o segundo o arranjo logístico entre elas. Dessa forma, em acordo com a Cooperativa Lar, foi selecionado o arranjo localizado em Sta. Helena no distrito de São Roque.

Santa Helena, é o município com o maior número de unidades de produção agropecuárias entre os municípios onde a Cooperativa atua, com 322 unidades. Grande parte dessas unidades se concentra no distrito de São Roque.

A seguir serão apresentados o detalhamento de arranjos para uso do biogás e biometano, para energia elétrica, térmica e veicular, bem como os resultados de viabilidade técnica e econômica.

### **10.1 ARRANJO ENERGÉTICO**

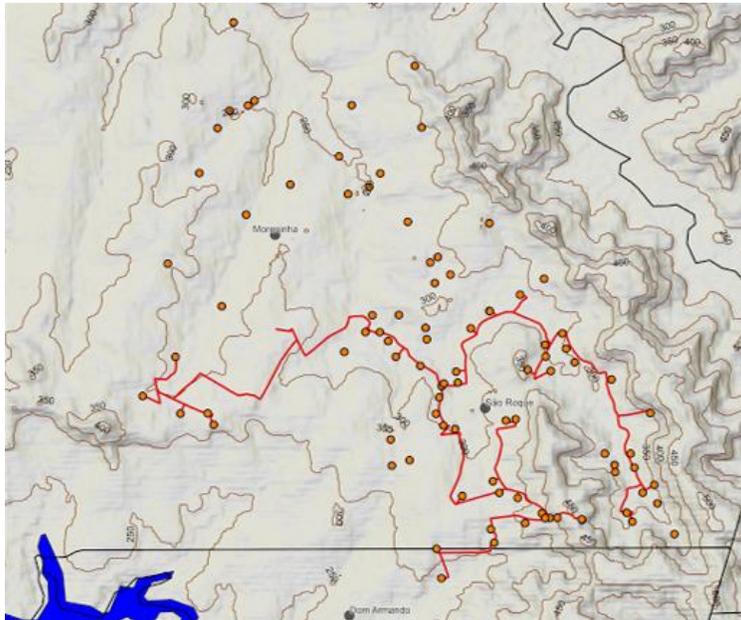
Após a seleção do arranjo, foi realizado o levantamento de campo para caracterização das propriedades e unidades de produção. O levantamento foi realizado tomando como referência as informações cadastrais fornecidas pela Cooperativa. Porém, na oportunidade, foi identificado que algumas das unidades do banco de dados, não eram mais cooperados da LAR. O objetivo foi apresentar um projeto para o território, desta forma mesmo produtores assistidos por outra cooperativa foram incluídos.

O objetivo foi apresentar um projeto para o território, desta forma mesmo produtores assistidos por outra cooperativa incluído.

Com as informações obtidas, foi possível pré-dimensionar o sistema de produção e a rede coletora de biogás.

Foram identificadas 59 propriedades em potencial, na sua maioria unidades de suinocultura, como pode ser visualizado na Figura 10.1. As informações de cada propriedade levantada em campo estão compiladas no Anexo III deste relatório.

**Figura 10.1 – Localização das Unidades de Produção – São Roque**



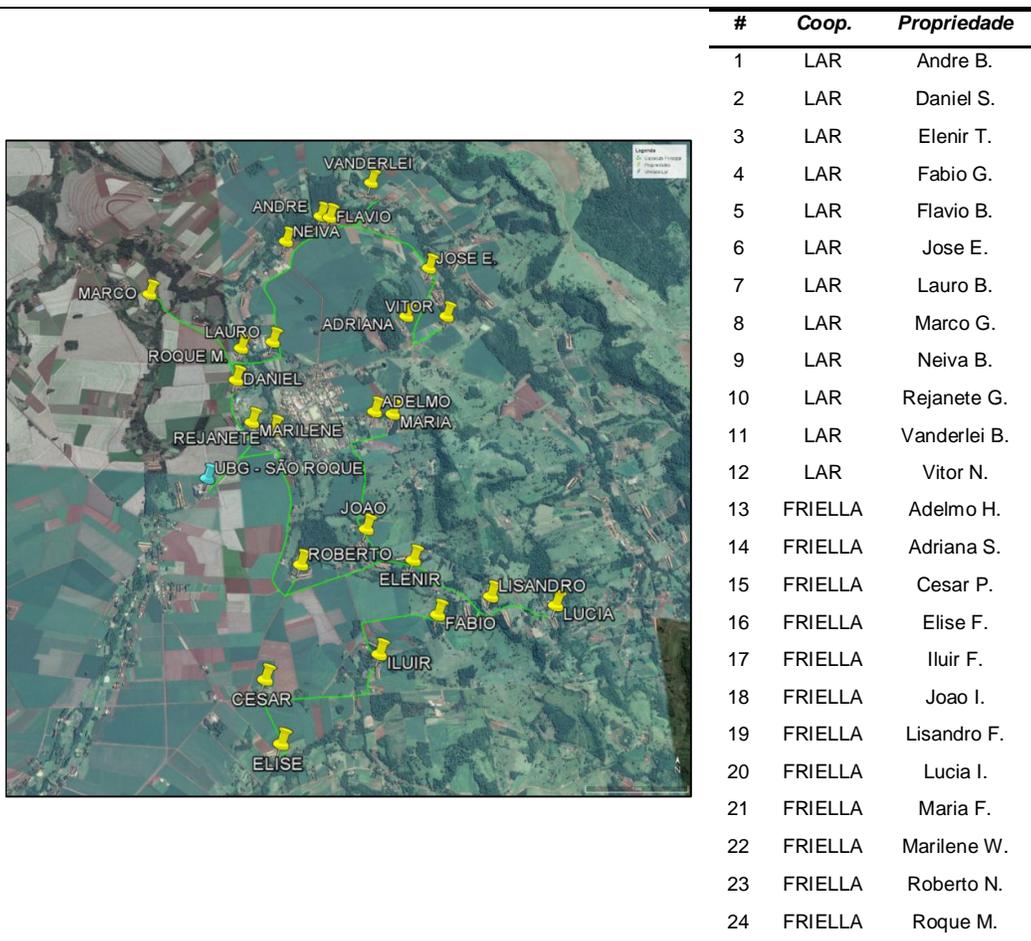
Fonte: CIH/CIBiogás

A rede coletora foi dimensionada levando em conta dados do relevo da microbacia e localização das rodovias da região. Essa última, considerada fator limitante, pois o custo e as premissas técnicas para a construção de um rede transpassando uma rodovia pode inviabilizar a implantação do projeto.

Após uma segunda análise entre a equipe técnica do CIBiogás com técnicos da Cooperativa Lar, foram selecionados por fim, 24 produtores em potencial, apresentados da Figura 10.2 e definida a Unidade de Beneficiamento de Grãos (UBG São Roque) como a Unidade de Armazenamento de Biogás. Esse número foi reduzido principalmente pela otimização do arranjo em relação as localizações geográficas das unidades e custos de implantação da linha principal da rede coletora e seus ramais.

Todas essas propriedades são produtoras de suínos, sendo algumas com possibilidade de realizar a codigestão com outras biomassas como a de bovino de leite e dejetos de avicultura.

**Figura 10.2 – Unidade de Produção Seleccionadas**

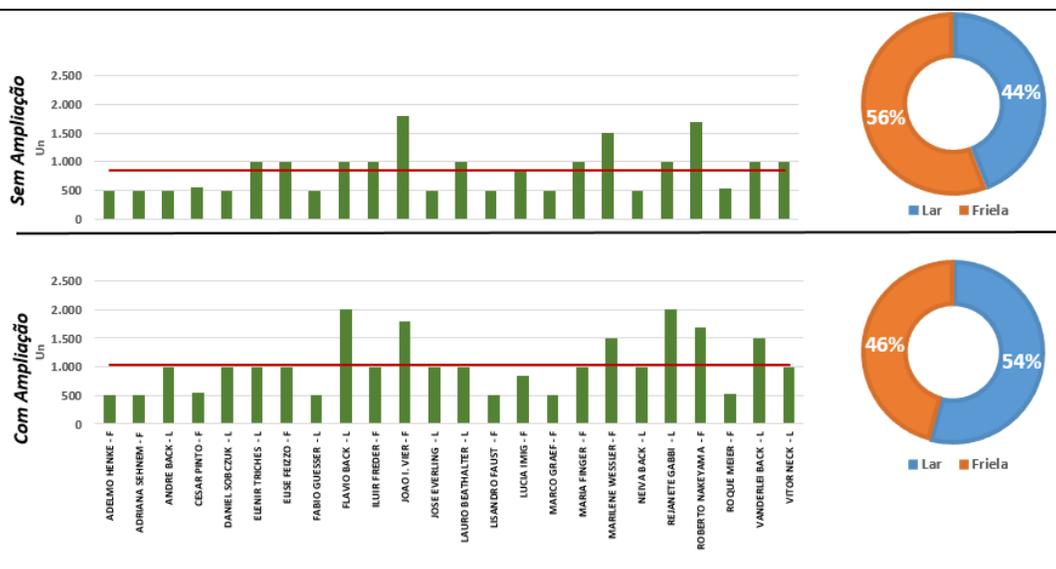


Fonte: CIH/CIBiogás

## 10.2 PLANTEL DE ANIMAIS

O número total de animais foi obtido tomando como base, dados cadastrais enviados por técnicos da Cooperativa e o potencial de ampliação do plantel para cooperados da Lar. Essas premissas são fundamentais para o pré-dimensionamento do sistema de biodigestão de cada unidade e da rede coletora de biogás. Dessa forma, os dados do plantel de animais são apresentados **Sem** e **Com** ampliação da Figura 10.3 abaixo.

**Figura 10.3 – Plantel de Animais do Arranjo de São Roque**



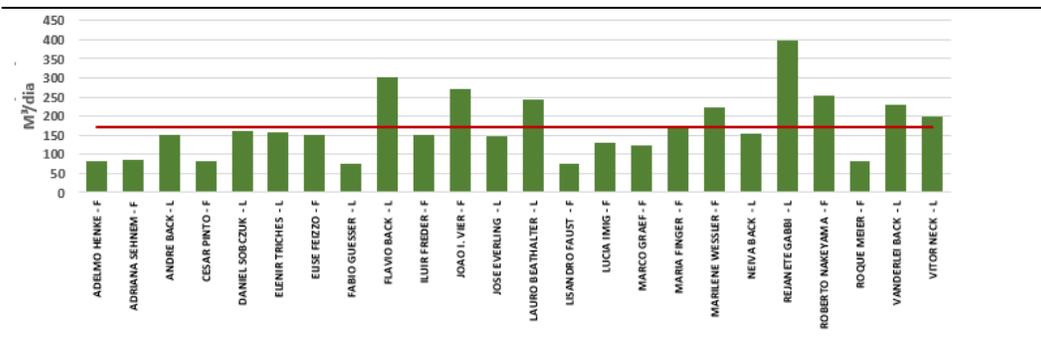
Fonte: CIBiogás

Atualmente, mesmo a Lar e a Friella possuindo o mesmo número de propriedades, o plantel da Friella é maior, representando 56% do total de animais. Porém, considerando que a Cooperativa Lar possui a perspectiva de duplicação do plantel de animais de seus cooperados, após essa ampliação a Lar passará a ter o maior plantel com 54% do total.

### 10.3 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

A partir da definição do número de animais alojados foi possível estimar o potencial de dejetos e conseqüentemente a produção de biogás por unidade de produção agropecuária (Figura 10.4).

**Figura 10.4 – Potencial de Produção de Biogás por Unidade de Produção**



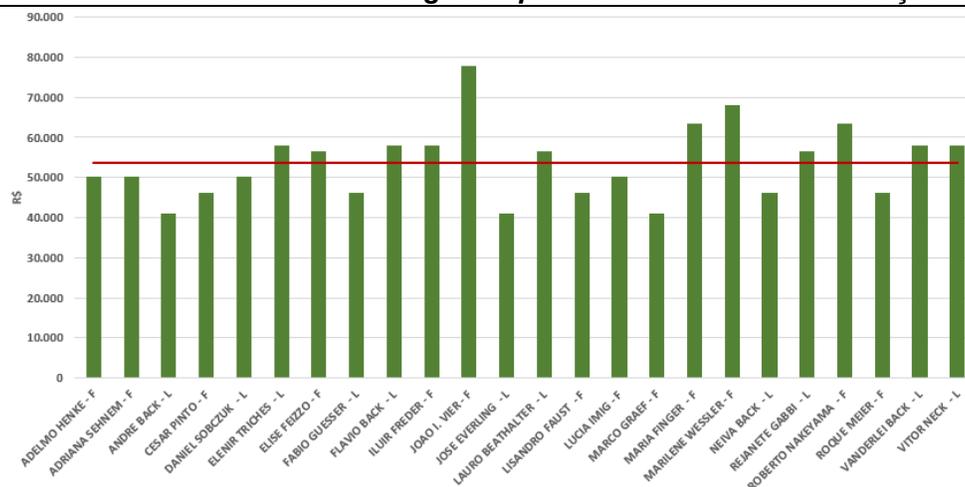
Fonte: CIBiogás

Em cada propriedade existe a expectativa que será produzido em média aproximadamente 160 m<sup>3</sup>/dia de biogás, variando de 55m<sup>3</sup>/dia a 400m<sup>3</sup>/dia. O arranjo de todas as unidades possui um potencial total de produção mensal de biogás de aproximadamente 102.400m<sup>3</sup>.

#### 10.4 CAPEX E OPEX – SISTEMA DE BIODIGESTÃO

A partir das informações de cada propriedade levantadas em campo, sobre o plantel de animais e condições das instalações, foi estimado o valor de investimento por propriedade do arranjo, apresentadas da Figura 10.5.

**Figura 10.5 – CAPEX do Sistema de Biodigestão para Cada Unidade de Produção**



Fonte: CIBiogás

Para os custos de investimento no sistema de biodigestão, foi considerado o banco de dados do CIBiogás de materiais, equipamentos e serviços, necessários para implantar sistema completo de biodigestão.

Esse valor variou de acordo com as instalações já existentes e o volume de dejetos produzidos. O CAPEX médio para cada propriedade foi estimado em aproximadamente R\$55.000,00, variando de R\$40.000,00 a R\$77.000,00.

As despesas operacionais (OPEX), são os preços contínuos para dirigir um produto, negócio ou sistema. No cenário proposto, foram estimados custos referentes a energia elétrica e manutenções preventivas de compressores e bombas.

Os custos operacionais foram estabelecidos tomando como base 5% do custo individual de investimento nos sistemas de biodigestão pré-dimensionados. Dessa forma, os

gastos médios anuais com a manutenção do sistema, foram de R\$2.684,00, variando de R\$2.056,40 a R\$3.886,00.

## 10.5 PRECIFICAÇÃO DO BIOGÁS

No arranjo proposto, foi considerado que os produtores seriam remunerados pelo biogás gerado na propriedade. Para encontrar o valor por m<sup>3</sup> de biogás, foram consideradas duas metodologias de cálculo:

- 1) *PayBack* Simples de 5 anos: Nesta rota, foi calculado o valor por m<sup>3</sup> de biogás para que o valor investido no sistema retornasse ao produtor em 5 anos;
- 2) Valor Presente Líquido 0: Nesta metodologia, foi calculado o valor do m<sup>3</sup> de biogás para um valor presente líquido igual a 0;

A Tabela 10.1 a seguir, são apresentados os valores individuais do m<sup>3</sup> de biogás para cada produtor nas diferentes metodologias de cálculo.

**Tabela 10.1 – Preço Individual do Biogás por Produtor**

#	Produtor	Empresa	PB 5 anos (R\$/m <sup>3</sup> )	VPL 0 (R\$/m <sup>3</sup> )
1	Adelmo Henke	Friella	R\$ 0,59	R\$ 0,48
2	Adriana Sehnem	Friella	R\$ 0,57	R\$ 0,46
3	Andre Back	Lar	R\$ 0,27	R\$ 0,22
4	Cesar Pinto	Friella	R\$ 0,55	R\$ 0,44
5	Daniel Sobczuk	Lar	R\$ 0,30	R\$ 0,25
6	Elenir Triches	Lar	R\$ 0,36	R\$ 0,30
7	Elise Feizzo	Friella	R\$ 0,37	R\$ 0,30
8	Fabio Guesser	Lar	R\$ 0,60	R\$ 0,48
9	Flavio Back	Lar	R\$ 0,19	R\$ 0,15
10	Iluir Freder	Friella	R\$ 0,38	R\$ 0,31
11	Joao I. Vier	Friella	R\$ 0,28	R\$ 0,23
12	Jose Everling	Lar	R\$ 0,27	R\$ 0,22
13	Lauro Beathalter	Lar	R\$ 0,23	R\$ 0,18
14	Lisandro Faust	Friella	R\$ 0,60	R\$ 0,48
15	Lucia Imig	Friella	R\$ 0,38	R\$ 0,31
16	Marco Graef	Lar	R\$ 0,33	R\$ 0,27
17	Maria Finger	Friella	R\$ 0,37	R\$ 0,30
18	Marilene Wessler	Friella	R\$ 0,30	R\$ 0,24
19	Neiva Back	Lar	R\$ 0,29	R\$ 0,24
20	Rejanete Gabbi	Lar	R\$ 0,14	R\$ 0,11
21	Roberto Nakeyama	Friella	R\$ 0,25	R\$ 0,20
22	Roque Meier	Friella	R\$ 0,56	R\$ 0,45
23	Vanderlei Back	Lar	R\$ 0,25	R\$ 0,20
24	Vitor Neck	Lar	R\$ 0,29	R\$ 0,23

Fonte: CIBiogás

Para os cálculos da viabilidade dos diferentes cenários de uso do biogás foi estabelecido um valor médio do m<sup>3</sup> do biogás a ser pago para todos os produtores. Esse

valor foi baseado nas médias simples e a ponderada pelo volume de biogás produzido por produtor, apresentados na Tabela 10.2.

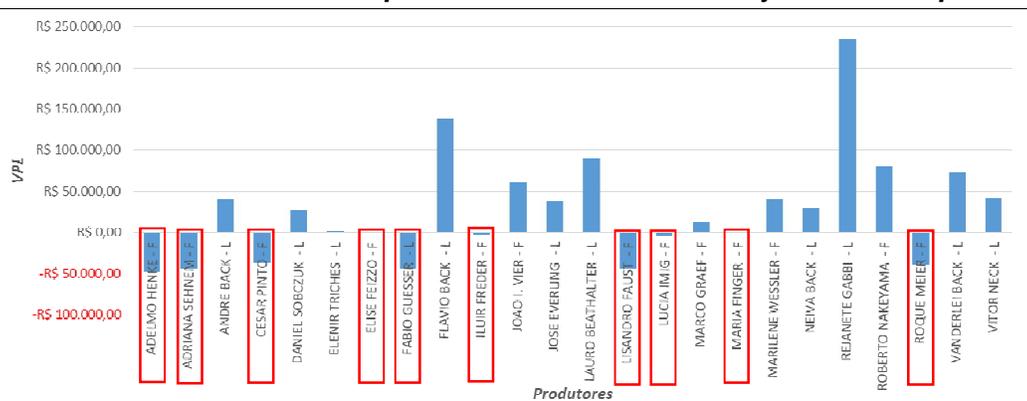
**Tabela 10.2 – Valor Médio do Biogás para o Arranjo de São Roque**

<i>Média</i>	<i>PB 5 anos</i>	<i>VPL 0</i>	<i>Média</i>
Simple	R\$0,36/m <sup>3</sup>	R\$0,29/m <sup>3</sup>	0,33
Ponderada	R\$0,31/m <sup>3</sup>	R\$0,25/m <sup>3</sup>	0,28
<b>Geral</b>	<b>R\$0,30/m<sup>3</sup></b>		

Fonte: CIBiogás

O valor médio de R\$0,30/m<sup>3</sup> foi utilizado como referência para os cálculos da viabilidade econômica para cada produtor integrante ao projeto. A Figura 9.6 demonstra o resultado da viabilidade.

**Figura 10.6 – Viabilidade Econômica para Cada Produtor do Arranjo de São Roque**



Fonte: CIBiogás

A utilização de um valor fixo para o m<sup>3</sup> do biogás produzido, inviabiliza a implantação em 10 das 24 propriedades do arranjo em questão, as quais encontram-se destacadas na Figura acima. Dessa forma, a atuação nessas propriedades deve ser abordada de forma diferente, em um valor diferenciado do biogás ou na estratégia de implantação do sistema de biodigestão.

## 10.6 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS

Tomando como referência o potencial de produção total de biogás no arranjo de São Roque, foram definidos preliminarmente 4 cenários de uso do biogás para geração de energia, descritos a seguir:

- 1) Energia Térmica:** 100% da produção de biogás é refinado em biometano, armazenado e transportado para UIA Matelândia para uso em caldeira;
- 2) Combustível Veicular:** 100% da produção de biogás é refinado em biometano, armazenado e transportado para UIA Matelândia para abastecimento da frota da Lar;
- 3) Energia Elétrica:** 100% da produção do biogás filtrado e utilizado para geração de energia elétrica na própria Unidade Armazenadora de Biogás em São Roque;
- 4) Dinâmico:** 95% do biogás filtrado, utilizado para geração de energia elétrica e 5% restante, refinado em biometano, armazenado e transportado para UIA Matelândia para abastecimento de veículos.

Em todos os cenários foi considerado que os investimentos no sistema de biodigestão seriam dos produtores, através de capital próprio ou financiamento. Da mesma forma, outro fator comum em todos os cenários analisados foi o pagamento aos produtores pelo biogás produzido. Esse valor levou em consideração a média geral do valor do biogás, de R\$0,30/m<sup>3</sup> e o volume potencial de produção (1.230.000m<sup>3</sup>/ano) totalizando um gasto anual de aproximadamente R\$374.000,00.

Outro fator comum em todos os cenários foi o custo de investimento e de operação na rede coletora de biogás. Foi considerado que o biogás será canalizado das propriedades até a Unidade de Armazenamento de Biogás de São Roque, com custos de projeto, implantação e operação desembolsados pela Cooperativa.

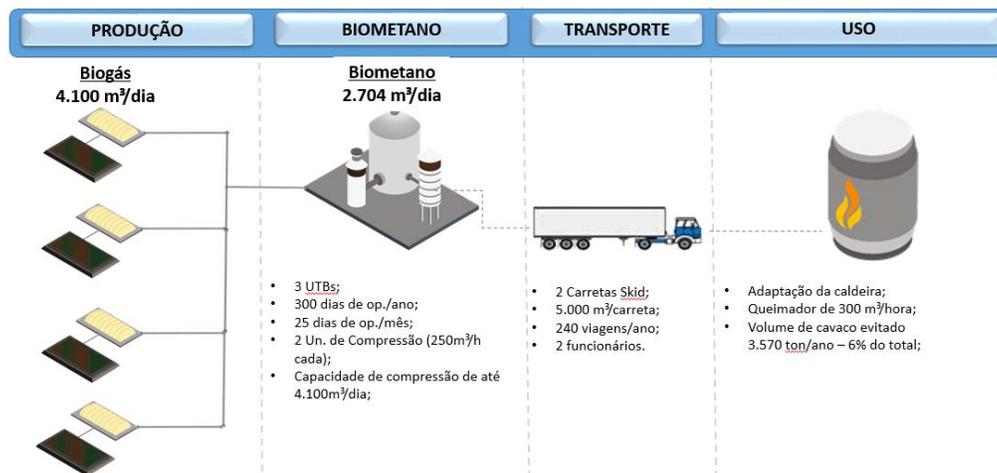
Foi dimensionada uma rede de aproximadamente 25Km de extensão, a um custo estimado de R\$70.000,00/Km. Considerado custos de hora máquina para escavação, insumos, tubulações, conexões e instalação. Dessa forma, o CAPEX estimado total para a rede coletora foi de aproximadamente R\$1.750.900,00 com um OPEX anual estimado de R\$20.000,00.

### **10.6.1 Cenário 1 – Energia Térmica**

Este cenário considera a utilização de 100% do biogás produzido como combustível térmico, após passar pelo processo de filtragem, compressão, armazenamento e transporte.

A Figura 10.7, a seguir demonstra o fluxo de massa e principais equipamentos e atividades correlacionadas ao cenário proposto.

**Figura 10.7 – Fluxograma Cenário 1 – Energia Térmica**



Fonte: CIBiogás

Para o volume estimado de produção de biogás será necessário a aquisição e implantação de 3 UTB`s (Unidades de Tratamento de Biogás), bem como 2 compressores com vazão de aproximadamente 250m³/h.

Para o armazenamento em alta pressão (250bar) e transporte será necessário a aquisição de 2 carretas skid (Figura 10.8) com capacidade de armazenamento de 5.000m³. Considerando as premissas de armazenamento e transporte apresentadas e utilização do biometano na UIA Matelândia, foi estimada a necessidade de realizar 240 viagens por ano.

**Figura 10.8 – Carreta Skid para Armazenamento e Transporte de Biometano**



Fonte: NEOGás

Para o uso do biometano na caldeira da UIA, será necessário instalar um queimador adicional, com capacidade de aproximadamente 300m³/h. Dessa forma, o volume estimado total evitado de biomassa florestal será de aproximadamente 3.570 ton/ano. Essa quantidade de biometano utilizada representa apenas 6% do volume total de cavaco consumido pela caldeira anualmente.

A partir das premissas apresentadas, foi estimado o CAPEX e OPEX para o cenário em questão. Os valores utilizados são apresentados na Tabela 10.3, a seguir.

**Tabela 10.3 – Valores de CAPEX e OPEX – Cenário 1**

<b>CAPEX</b>	<b>R\$</b>	<b>%</b>
- Transporte	2.300.000	36,2
- Rede Coletora	1.745.900	27,5
- UTB	1.500.000	23,6
- Sistema de Compressão	600.000	9,5
- Adaptação da Caldeira	200.000	3,1
<b>Total CAPEX</b>	<b>6.345.900</b>	<b>100</b>
<b>OPEX</b>	<b>R\$/ano</b>	<b>%</b>
- Compra de Biogás	374.000	45,8
- Transporte	210.000	25,7
- UTB	150.000	18,4
- Sistema de Compressão	60.000	7,4
- Rede Coletora	20.000	2,5
- Caldeira	2.000	0,2
<b>Total OPEX</b>	<b>816.000</b>	<b>100</b>

Fonte: CIBiogás

No CAPEX, o maior desembolso é em relação aos equipamentos de armazenamento e transporte do biometano, representando aproximadamente 36% do valor total. Essa atividade também é representativa quando avaliado os custos operacionais, representando aproximadamente 25%. A atividade de transporte é superada somente pelo custo de aquisição do biogás produzido pelos produtores, responsável por 46% do valor de OPEX.

#### 10.6.1.1 Viabilidade Econômica – Cenário 1

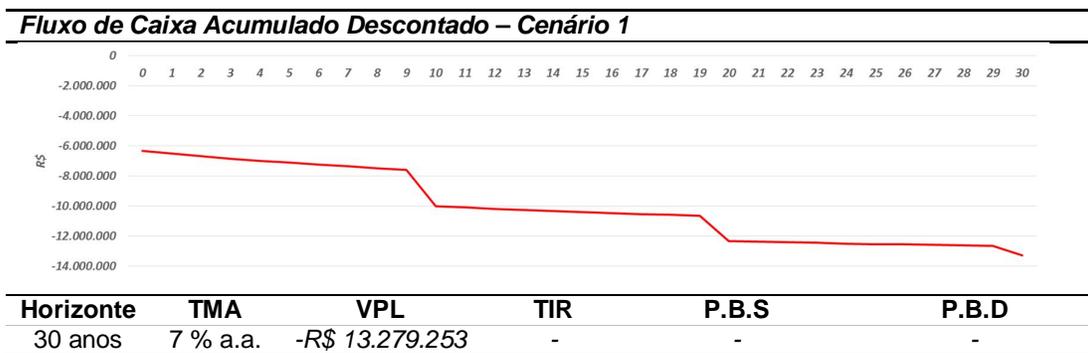
Para avaliação da viabilidade econômica da implantação do Cenário 1, foi considerado o potencial de substituição do cavaco de madeira pelo biometano produzido no Arranjo de São Roque.

Para determinar o custo evitado na compra de cavaco, foi correlacionado o volume demandado de cavaco por ano (60.000 toneladas) e o volume de biometano produzido (811.000 m<sup>3</sup>/ano), com o poder calorífico das duas biomassas consideradas: (i) Madeira: 2.500 Kcal/Kg e (ii) Biometano: 11.000 Kcal/Kg.

Dessa forma, a utilização de biometano como energia térmica na caldeira, compensaria aproximadamente 3.560 toneladas por ano de cavaco. Considerando um valor médio de R\$175,00 por tonelada, o valor estimado total evitado seria de R\$624.560,00/ano.

De acordo com as informações compiladas, foi realizado a viabilidade econômica, contemplada na Figura 10.9, a seguir.

**Figura 10.9 – Fluxo de Caixa Acumulado Descontado para o Cenário 1**



Fonte: CIBiogás

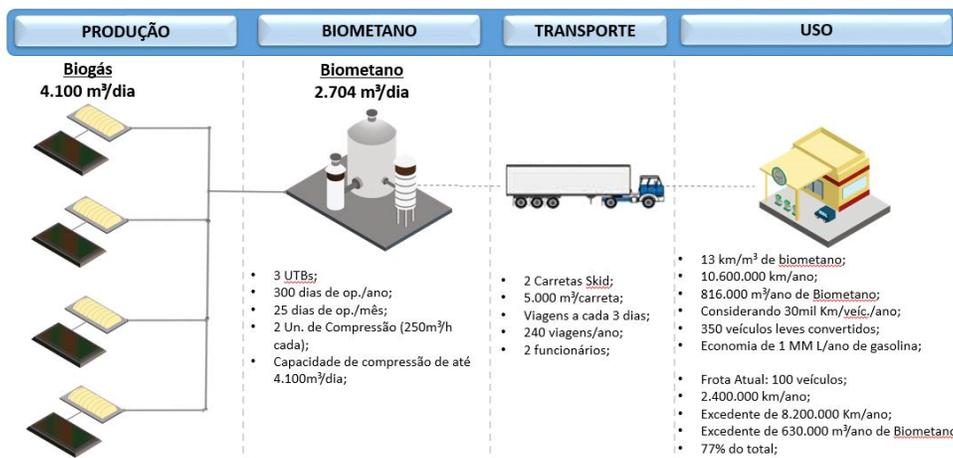
A partir do fluxo da caixa apresentado, o cenário de uso do Biometano como energia térmica não apresenta viabilidade econômica. A inviabilidade é causada principalmente pelo alto custo de transporte do biometano e a pouca representatividade no custo evitado na demanda de biomassa florestal utilizada na caldeira da UIA Matelândia.

### 10.6.2 Cenário 2 – Combustível Veicular

O arranjo técnico para combustível veicular é semelhante ao arranjo para energia térmica, diferenciando apenas no uso final do biometano. Neste cenário prevê a utilização de 100% do biogás produzido como combustível veicular, após passar pelo processo de filtragem, compressão, armazenamento e transporte.

A Figura 10.10, demonstra o fluxo de massa e principais equipamentos e atividades correlacionadas ao cenário proposto.

**Figura 10.10 – Fluxograma Cenário 2 – Combustível Veicular**



Fonte: CIBiogás

Da mesma forma ao Cenário 1, para o volume previsto de produção de biogás será necessário a aquisição e implantação de 3 UTB`s (Unidades de Tratamento de Biogás), bem como 2 compressores com vazão de aproximadamente 250m<sup>3</sup>/h.

Para o armazenamento em alta pressão e transporte será necessário a aquisição de 2 carretas *skid* com capacidade de armazenamento de 5.000m<sup>3</sup>. Considerando as premissas de armazenamento, transporte e abastecimento dos veículos na UIA Matelândia, foi estimada 240 viagens por ano.

Com um volume de biometano de 816.000m<sup>3</sup>/ano e autonomia média por veículo leve de 13km/m<sup>3</sup>, é estimado a disponibilidade de 10.600.000km/ano a serem percorridos utilizando biometano como combustível. Considerando que cada veículo leve da frota da Lar percorrem aproximadamente 30.000km/ano, o volume de biometano disponibilizado poderia abastecer aproximadamente 350 veículos.

A partir das premissas apresentadas, foi estimado o CAPEX e OPEX para o cenário em questão. Os valores utilizados são apresentados na Tabela 10.4, a seguir.

**Tabela 10.4 – Valores de CAPEX e OPEX – Cenário 2**

<b>CAPEX</b>	<b>R\$</b>	<b>%</b>
- Transporte	2.300.000	29
- Adaptação de veículos	1.760.000	22
- Rede Coletora	1.745.900	22
- UTB	1.500.000	19
- Sistema de Compressão	600.000	8
<b>Total CAPEX</b>	<b>7.900.000</b>	<b>100</b>
<b>OPEX</b>	<b>R\$/ano</b>	<b>%</b>
- Compra de Biogás	374.000	41
- Transporte	210.000	23
- UTB	150.000	16
- Veículos	106.000	12
- Sistema de Compressão	60.000	6
- Rede Coletora	20.000	2
<b>Total OPEX</b>	<b>920.000</b>	<b>100</b>

Fonte: CIBiogás

No CAPEX, o maior desembolso é em relação aos equipamentos de armazenamento e transporte do biometano, representando aproximadamente 29% do valor total. Seguido pelos custos de adaptação de veículos à biometano, com 22% do total.

No OPEX o custo da compra do biogás continua com maior representatividade com 41% do total gasto anualmente. Neste cenário foi estimado o custo de manutenção dos veículos adaptados, que representa aproximadamente 12% do custo total.

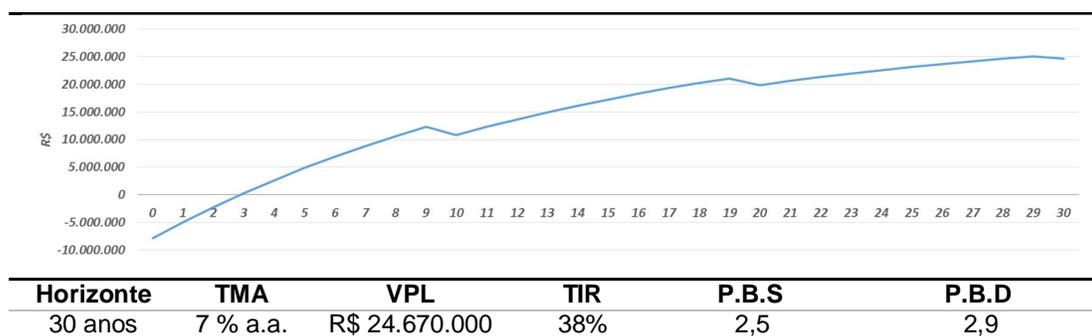
### 10.6.2.1 Viabilidade Econômica – Cenário 2

Para avaliação da viabilidade econômica da implantação do Cenário 2, foi considerado o potencial de substituição da gasolina pelo biometano produzido no Arranjo de São Roque.

Para determinar o custo evitado na compra de gasolina utilizada nos veículos leves da frota da Lar, foi correlacionado a autonomia média de cada combustível. O que indica uma economia estimada de aproximadamente 1.000.000 de litro de gasolina por ano. Considerando esse combustível a um valor de R\$3,80/L, será possível evitar um custo estimado de R\$4.000.000,00/ano.

De acordo com as informações compiladas, foi realizado a viabilidade econômica, contemplada na Figura 10.11, a seguir.

**Figura 10.11 – Fluxo de Caixa Acumulado Descontado para o Cenário 2**



Fonte: CIBiogás

Embora o Cenário 2 apresentar uma perspectiva muito atrativa economicamente, ele se inviabiliza tecnicamente por não ter a demanda que atenda a oferta disponibilizada de biometano.

Se considerar a frota atual de veículos leves da Cooperativa de 100 veículos, seria necessário disponibilizar somente 33% do volume total produzido. Essa estratégia não teria viabilidade técnica e econômica.

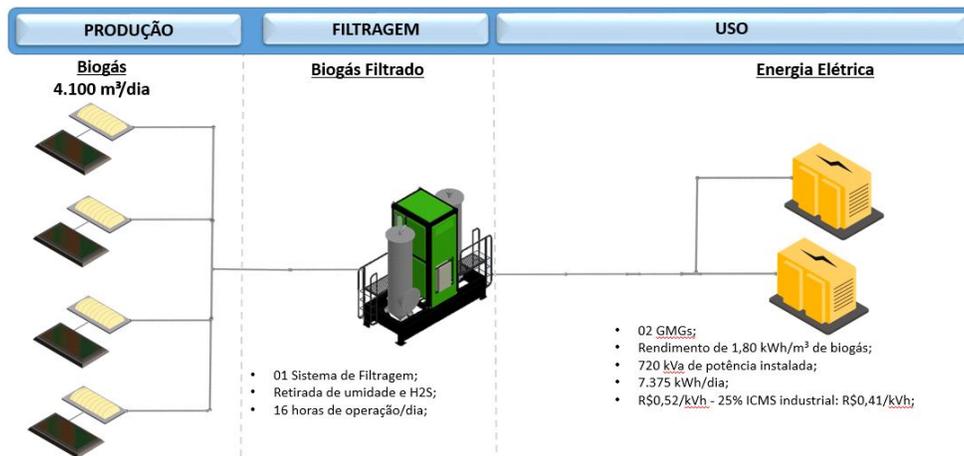
Uma alternativa para viabilizar tecnicamente o arranjo proposto, seria a utilização do biometano em veículos pesados utilizados para transportar ração e animais. Porém, o mercado de veículos pesados adaptados à biometano ainda é pequeno com poucas opções de equipamentos.

### 10.6.3 Cenário 3 – Energia Elétrica

Neste cenário, prevê a utilização de 100% do biogás produzido como combustível para geração de energia elétrica através de Grupo Moto geradores (GMG), após passar pelo processo de filtragem e armazenamento.

A Figura 10.12, demonstra o fluxo de massa e principais equipamentos e atividades correlacionadas ao cenário proposto.

**Figura 10.12 – Fluxograma Cenário 3 – Energia Elétrica**



Fonte: CIBiogás

Diferentemente dos cenários apresentados anteriormente, o biogás armazenado na Unidade de São Roque será utilizado na própria unidade, para geração de energia elétrica. Desconsiderando dessa forma, qualquer investimento em estrutura de transporte e de armazenamento em alta pressão.

Para otimizar o rendimento dos GMG será necessário o investimento em uma unidade de filtragem do biogás, para retirada do Ácido Sulfídrico (H<sub>2</sub>S). De acordo com o volume de biogás estimado e o rendimento dos GMG`s foi possível pré-dimensionar 2 GMG com potência instalada total de 720kVa, gerando aproximadamente 7.375kWh/dia.

A partir das premissas apresentadas, foi estimado o CAPEX e OPEX para o cenário em questão. Os valores utilizados são apresentados na Tabela 10.5, a seguir.

**Tabela 10.5 – Valores de CAPEX e OPEX – Cenário 3**

<b>CAPEX</b>	<b>R\$</b>	<b>%</b>
- Rede Coletora	1.745.900	64
- Central Termoelétrica	935.000	34
- Filtro	40.000	2
<b>Total CAPEX</b>	<b>2.720.900</b>	<b>100</b>
<b>OPEX</b>	<b>R\$/ano</b>	<b>%</b>
- Compra de Biogás	374.000	84
- Central Termoelétrica	46.750	11
- Rede Coletora	20.000	4
- Filtro	4.000	1
<b>Total OPEX</b>	<b>444.750</b>	<b>100</b>

Fonte: CIBiogás

Neste cenário, o CAPEX é inferior aos apresentados anteriormente. O maior investimento inicial é em relação a Rede Coletora de biogás, representando 64% do CAPEX total. Seguido pela construção da Central Termoelétrica com os GMG`s instalados, que representa 34%, aproximadamente R\$935.000,00.

Da mesma forma aos outros cenários apresentados, no OPEX, o custo da compra do biogás possui a maior representatividade, com 84% do total gasto anualmente.

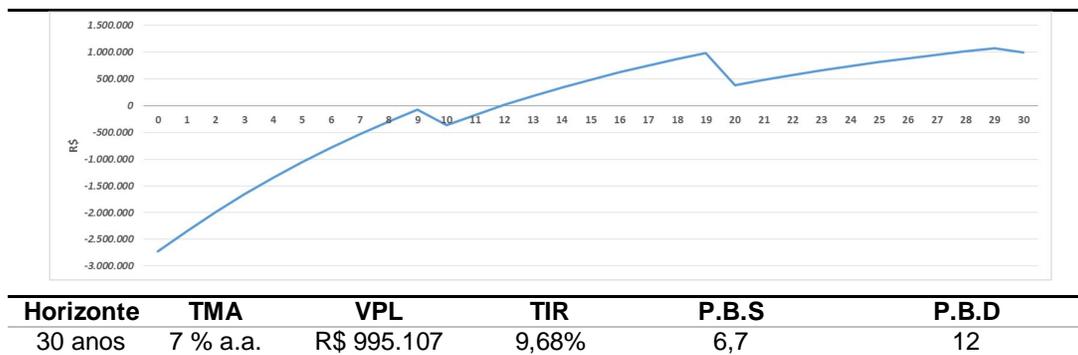
### 10.6.3.1 Viabilidade Econômica – Cenário 3

A viabilidade econômica do cenário para geração de energia elétrica considerou a Resolução 482 da Aneel, que estabelece as regras para compensação de energia elétrica. Dessa forma, foi considerado o valor do potencial de produção de energia compensado na própria Unidade de São Roque e em outras unidades da Cooperativa Lar, dentro da área de atuação da Copel.

A tarifa utilizada como referência para os cálculos foi R\$0,52/kWh, baseada nos históricos de contas de energia na Unidade de São Roque. Porém para o cálculo do valor total compensado é necessário descontar ainda ICMS de 29%. Dessa forma, o valor final utilizado para dimensionar o custo da energia compensada foi de R\$0,38/kWh. Quando multiplicado pelo potencial de geração de energia, o valor compensado é de aproximadamente R\$850.000,00 por ano.

De acordo com as informações compiladas, foi realizada a viabilidade econômica, contemplada na Figura 10.13, a seguir.

**Figura 10.13 – Fluxo de Caixa Acumulado Descontado para o Cenário 3**



Fonte: CIBiogás

Além do Cenário de Geração de Energia Elétrica apresentar viabilidade técnica e econômica, outra vantagem desse modelo é o fato de ser um sistema em que os equipamentos e a dinâmica de funcionamento já é comum no mercado. Com grande números de fornecedores e prestadores de serviço especializados na área.

#### 10.6.4 Cenário 4 – Cenário Dinâmico

O cenário dinâmico proposto visa demonstrar tecnicamente e economicamente a viabilidade do uso do biometano como combustível veicular e estimular a demanda por esse combustível na região. Dessa forma, foi possível dimensionar um cenário de produção de biometano sem comprometer o potencial de produção de energia elétrica, dimensionado no Cenário 3.

A Figura 10.14, a seguir demonstra o fluxo de massa e principais equipamentos e atividades correlacionadas ao cenário proposto.

**Figura 10.14 – Fluxograma Cenário 4 – Dinâmico**



Fonte: CIBiogás

O arranjo para produção de biometano prevê a utilização de somente 5% do biogás produzido. Dessa forma, foi dimensionado um sistema de filtragem, armazenamento e transporte atendendo 18 veículos percorrendo aproximadamente 30.000km/ano.

Os 95% restante do biogás não compromete a geração de energia elétrica nas mesmas bases tecnológicas apresentadas no Cenário 3, com 2 GMG's com potência instalada total de 720kVa, gerando aproximadamente 7.375kWh/dia.

A partir das premissas apresentadas, foi estimado o CAPEX e OPEX para o cenário em questão. Os valores utilizados são apresentados na Tabela 10.6, a seguir.

**Tabela 10.6 – Valores de CAPEX e OPEX – Cenário 4**

<b>CAPEX</b>	<b>R\$</b>	<b>%</b>
- Rede Coletora	1.745.900	50
- MCT	905.000	26
- Sistema de Compressão	300.000	9
- UTB	250.000	7
- Transporte	150.000	4
- Adaptação Veículos	90.000	3
- Filtro	40.000	1
<b>Total CAPEX</b>	<b>3.500.000</b>	<b>100</b>
<b>OPEX</b>	<b>R\$/ano</b>	<b>%</b>
- Compra de Biogás	374.000	69
- Transporte	50.000	9
- MCT	50.000	9
- Sistema de Compressão	30.000	6
- Rede Coletora	20.000	4
- UTB	13.000	2
- Veículos	4.500	1
<b>Total OPEX</b>	<b>540.000</b>	<b>100</b>

Fonte: CIBiogás

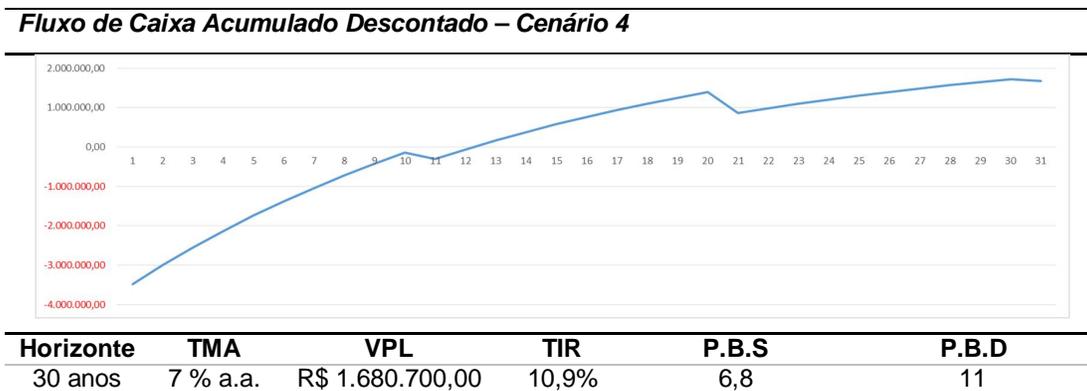
Para o uso múltiplo do biogás, existe a necessidade de investimento inicial R\$780.000,00 em comparação ao cenário de geração de energia elétrica. Quando avaliado o OPEX, esse apresenta um custo adicional de aproximadamente R\$100.000,00 anuais.

#### 10.6.4.1 Viabilidade Econômica – Cenário 4

Para viabilidade do Cenário Dinâmico, além de considerar o valor de aproximadamente R\$850.000,00 anuais, compensados com a geração de energia elétrica, também foi estimado o custo evitado no consumo de combustível de veículos leves, no valor de R\$200.000,00 anuais.

De acordo com as informações compiladas, foi realizado a viabilidade econômica, contemplada na Figura 10.15, a seguir.

**Figura 10.15 – Fluxo de Caixa Acumulado Descontado para o Cenário 4**



Fonte: CIBiogás

Além de usar o biogás de forma dinâmica sem um comprometimento econômico. A utilização de apenas 5% do biogás como combustível veicular melhora a viabilidade, em comparação ao uso dedicado à geração de energia elétrica.

O dinamismo deste cenário pode vir a fomentar no futuro uma substituição maior de combustíveis fósseis, principalmente gasolina e óleo diesel, pelo biometano.

## 10.7 GOVERNANÇA DO PROJETO

Governança visa coibir e garantir as normas, ditando “como deve ser” e “como não deve ser”, através de termos de conduta pré-acordados e mecanismos que pretendem reduzir ou cessar os problemas de interesse. Estabelece também, métodos e ferramentas para evitar falhas. É essencial para assegurar que o propósito a qual foi submetida seja atingido, cumprir a eficácia que precisa ser cumprida, e atender à eficiência.

Dessa forma, é importante, para uma efetiva governança do projeto, seguir os pontos definidos a seguir:

- Propósito – Gerar energia elétrica através do biogás produzido em pequenas propriedades rurais na região do distrito de São Roque em Santa Helena/PR;
- Eficácia – Garantir a qualidade de cumprir com o planejado de:
  - Produção de biogás nas propriedades;
  - Geração de energia elétrica na MCT;
  - Produção de biometano.

- Eficiência – Garantir o trabalho correto e buscar garantir a melhor forma da produção do biogás até a geração de energia, seja elétrica ou veicular.

## 11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conceito de sustentabilidade foi determinante para a elaboração deste relatório, abordando itens de cada um dos 3 pilares: (i) Ambiental – Tratamento de resíduos; (ii) Econômico – Diminuição dos custos em energia da Cooperativa; e (iii) Social – Diversificação da renda do pequeno produtor.

O mapeamento da cadeia do biogás da Cooperativa Lar, partindo do potencial de produção, passando por arranjos energéticos e rotas tecnológicas, visa não somente a geração de energia renovável como também a redução dos impactos ambientais. A quantidade de resíduos gerados no sistema agropecuário, principalmente pela suinocultura, deve ter uma atenção especial. Caso não sejam realizados trabalhos efetivos de tratamento e aproveitamento energéticos desses resíduos com viabilidade econômica, toda uma cadeia de produção de proteína animal fica comprometida.

O dinamismo do uso do biogás como um combustível de geração de energia, seja ele na sua forma *in natura*, filtrado ou refinado como biometano, colabora na multiplicidade de cenários de projetos de energias renováveis. Seja, utilizado como energia térmica em caldeiras, geração de energia elétrica através de moto geradores ou como combustível veicular na forma de biometano.

Dessa forma, este trabalho pode determinar linhas de atuação prioritárias de projetos, visando a geração de energia renovável com responsabilidade sustentável. Garantindo para aqueles que fazem parte da cadeia da agroindústria possam contribuir e terem ganhos ambientais, sociais e econômicas para o sistema.