



POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS NA REGIÃO AMAZÔNICA:

Oportunidades da
Bioeconomia

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS NA REGIÃO AMAZÔNICA:

Oportunidades da Bioeconomia

Entidades envolvidas:

Instituto Escolhas
CIBiogás - Centro Internacional de Energias Renováveis

Idealização e Coordenação do Instituto Escolhas

Sérgio Leitão - Diretor Executivo
Larissa Rodrigues - Gerente de Projetos e Produtos
Rafaela Silva - Coordenadora de Projetos e Produtos

Diretoria do CIBiogás

Rafael Hernando de Aguiar Gonzalez - Diretor-Presidente
Felipe Souza Marques - Diretor de Desenvolvimento Tecnológico
Michelli Fregnani - Diretora Administrativo-Financeira

Autores:

Jessica Yuki de Lima Mito
Mauricio Penteado
Alessandra Freddo

Envolvidos:

Daiana Gotardo Martinez
Aline Scarpetta
Breno Pinheiro
José Fernando lasbech
Maiara Fernanda García
Natalí Nunes Reis da Silva

Projeto gráfico:

Bruno Yoshio Terao

Apoio:



A agenda de bioeconomia do Instituto Escolhas é apoiada pela Finance for Biodiversity (F4B), que visa aumentar a incidência da biodiversidade na tomada de decisões financeiras e alinhar as finanças globais com a conservação e a restauração da natureza e é financiada pela Fundação MAVA.



APRESENTAÇÃO

Este estudo, idealizado pelo Instituto Escolhas e realizado pelo Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás-ER), tem por objetivo apresentar dados e informações que subsidiem ações estruturantes para o desenvolvimento sustentável da região amazônica por meio do aproveitamento energético do biogás. Os resultados contribuirão com a proposição e o fomento de políticas públicas e de projetos com foco em segurança energética, suporte ao desenvolvimento e promoção da economia circular local.

A conversão da matéria orgânica residual, oriunda de distintos resíduos e efluentes, em um ativo energético – o biogás –, é uma estratégia para o desenvolvimento de soluções frente aos desafios energéticos e ambientais da região.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	7
2.	MÉTODO	9
3.	POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS DA REGIÃO AMAZÔNICA	9
3.1.	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)	10
3.1.1.	Potencial de produção de biogás - RSU	12
3.1.2.	Panorama de RSU e oportunidades para o aproveitamento	17
3.1.3.	Case: Estado do Amapá	27
3.2.	AGROINDÚSTRIA - ABATE DE PEIXES EM FRIGORÍFICOS	30
3.2.1.	Potencial de Produção de Biogás - Abate de peixes em frigoríficos	34
3.2.2.	Case: Frigorífico em Manacapuru	40
3.3.	AGROINDÚSTRIA - PRODUÇÃO DE FARINHA DE MANDIOCA	41
3.3.1.	Potencial de produção de biogás - fabricação de farinha de mandioca	42
3.3.2.	Case: Biodigestor de escala doméstica	53
3.3.3.	Case: Central de bioenergia	54
4.	MECANISMOS PARA VIABILIZAR O POTENCIAL DE BIOGÁS	55
4.1.	MECANISMOS DE APOIO PARA O DESENVOLVIMENTO DO BIOGÁS	55
4.2.	OPORTUNIDADES DE ARRANJOS TECNOLÓGICOS	60
4.2.1.	Geração de Energia Elétrica	64
4.2.2.	Produção de Biometano	66
4.2.3.	Geração de energia térmica	69
4.3.	DESAFIOS E OPORTUNIDADES DE CADA SUBSTRATO	70
4.3.1.	Resíduos Sólidos Urbanos - RSU	70
4.3.2.	Resíduos do abate de peixes em frigoríficos	71
4.3.3.	Efluentes do processamento da mandioca para produção de farinha	72
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
6.	AGRADECIMENTOS	76
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
	Anexo I – Proposição de macro áreas para disposição de resíduos no estado de Rondônia	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Potencial de produção de biogás por estado para RSU, resultado expresso em milhões de Nm ³ por ano.	12
Figura 2 - Potencial da geração de biogás a partir de RSU por município, em milhões de Nm ³ por ano.	14
Figura 3 - Caracterização de unidades por tipo e por estado.	18
Figura 4 - Volume de resíduos disposto por tipo de unidade.	18
Figura 5 - Volume de resíduos disposto por tipo de unidade e por estado.	21
Figura 6 - Número de unidades com drenagem de gases por tipo.	22
Figura 7 - Disposição geográfica das unidades com o maior potencial de produção de biogás.	24
Figura 8 - Síntese das estimativas de potencial e de utilização de biogás.	26
Figura 9 - Aterro de Macapá.	27
Figura 10 - Potencial estadual de produção de biogás a partir de resíduos do abate de peixes (Mil Nm ³ /ano).	34
Figura 11 - Potencial estadual de produção de biogás a partir de resíduos do abate de peixes (Mil Nm ³ /ano).	38
Figura 12 - Potencial de produção de biogás dos estados da região amazônica a partir dos resíduos da produção de farinha de mandioca. (Mil Nm ³ /ano)	44
Figura 13 - Potencial de produção de biogás dos resíduos da produção de farinha de mandioca a nível municipal da região amazônica (Mil Nm ³ /ano).	49
Figura 14 - Resumo dos métodos de monetização da biomassa.	60
Figura 15 - Tipos de arranjos para o aproveitamento energético do biogás.	61
Figura 16 - Exemplificação de uma Central de Bioenergia	62
Figura 17 - Alternativas para a geração de eletricidade utilizando o biogás.	64
Figura 18 - Fluxograma da produção e da utilização do biometano.	67

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Potencial de produção de biogás e as suas respectivas equivalências energéticas.	13
Quadro 2 - Caracterização das unidades selecionadas.	24
Quadro 3 - Caracterização do potencial da unidade e as suas equivalências energéticas.	29
Quadro 4 - Caracterização das unidades avaliadas.	31
Quadro 5 - Potencial de produção de biogás e as suas respectivas equivalências energéticas por estado.	35
Quadro 6 - Ranking dos dez estabelecimentos com maior potencial de produção de biogás a partir dos resíduos do abate de peixes em frigoríficos.	39
Quadro 7 - Caracterização das unidades avaliadas.	42
Quadro 8 - Potencial de produção de biogás e as suas respectivas equivalências energéticas por estado.	45
Quadro 9 - Ranking dos dez municípios com maior potencial de produção de biogás a partir de efluente do processamento de mandioca.	50

1. INTRODUÇÃO

A importância da diversificação de fontes energéticas é evidenciada a partir da crescente demanda por suprimento constante e de qualidade aos consumidores. Nesse aspecto, o fortalecimento das energias renováveis não convencionais contribui com a descentralização, aproximando pontos de geração ao consumo, ampliando, assim, a segurança energética local.

A energia é fundamental para a sobrevivência e o desenvolvimento da sociedade contemporânea, tratando-se de um insumo básico – e, portanto, faz-se necessário garantir o acesso a uma energia de qualidade. Além disso, considerando o sustentado crescimento populacional¹, o aumento da demanda de energia² e as limitações para a expansão da hidreletricidade no Brasil, destaca-se a importância de maior diversificação das fontes de energia, além da manutenção do Brasil como uma referência mundial em aproveitamento e expansão de uma matriz elétrica limpa e renovável.

Dentre os desafios estabelecidos no território, prevalecem o atendimento às comunidades isoladas as quais ainda não têm acesso à rede de energia elétrica, à infraestrutura de comunicação e têm acesso limitado ao saneamento básico. Além disso, observa-se que a região amazônica conta com um amplo uso da lenha para a cocção doméstica, o que impacta diretamente na qualidade de vida e na saúde da população, acentuando a necessidade em soluções energéticas renováveis e limpas.

Ademais, soluções que integram o tratamento de passivos ambientais relacionados aos resíduos gerados pelas diversas atividades produtivas com a geração de energia merecem destaque e incentivos para multiplicação em território nacional.

O biogás é um combustível que pode contribuir com essa solução, pois representa uma energia limpa, firme e despachável. É importante destacar que sua produção decorre do tratamento de resíduos que, se dispostos sem o manejo adequado, culminam na contaminação do solo, das águas e da atmosfera.

¹ IBGE, 2019: A população brasileira cresce a uma taxa de 0,6% a.a.

² EPE. Plano Decenal de Energia - PDE (2019-2029): Carga do Sistema Interligado Nacional deve aumentar em 29 GW médios até 2029.

Nesse contexto, o estudo **Potencial de Produção de Biogás da Região Amazônica** foi estruturado para apresentar o potencial dos Resíduos Sólidos Urbanos - RSU, de frigoríficos de abate de peixes e da produção de farinha de mandioca na produção de biogás e de energia elétrica nos estados da Amazônia Legal, com o intuito de promover e apontar estratégias para a implementação de iniciativas e de projetos que contribuam com o incremento competitivo da bioeconomia da região, possibilitando a cooperação entre empresas, governos e instituições de pesquisa.

2. MÉTODO

Este estudo avaliou o **Potencial de Produção de Biogás da Região Amazônica**, **considerando** os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins³.

Ele foi elaborado a partir de uma pesquisa qualitativa e quantitativa, buscando obter resultados para identificar o potencial de produção de biogás e a sua conversão energética oriunda de diferentes tipos de substratos: Resíduos Sólidos Urbanos - RSU, resíduos do abate de peixe e resíduos da fabricação de farinha de mandioca.

O desenvolvimento deste relatório foi baseado na aquisição de dados referentes aos substratos determinados, cujos resultados de potencial de produção de biogás e equivalências energéticas foram obtidos por meio de fontes públicas e de consultas à base de dados do Centro Internacional de Energias Renováveis Biogás - CIBiogás. A partir dos dados obtidos, foram realizadas avaliações técnicas e mercadológicas sobre os desafios e as oportunidades para a utilização desse potencial na região.

Neste levantamento, buscou-se obter informações com agentes que conhecem e atuam nos estados da região amazônica, e obteve-se o apoio de instituições governamentais, privadas e de pesquisa da região para maior assertividade e confiabilidade nos dados. As instituições consultadas foram a Secretaria de Produção Rural do Amazonas (SEPA), o Instituto de Extensão, Assistência e Desenvolvimento Rural do Amapá (RURAP), a Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico de Mato Grosso (SEDEC-MT), a Inspeção de Produtos de Origem Animal (INDEA-MT), o Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal de Tocantins (DIPOA/SDA) e a Embrapa Acre.

3. POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS DA REGIÃO AMAZÔNICA

Este capítulo apresenta o potencial de produção de biogás e respectivas

³ O estado do Maranhão não disponibilizou informações para avaliar o potencial do biogás a partir dos resíduos do abate de peixes.

equivalências energéticas a partir dos três diferentes substratos – RSU, resíduos do abate de peixes em frigoríficos e resíduos da produção da farinha de mandioca – para os estados da região amazônica.

A análise contemplou os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins

3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

Os RSU são gerados diariamente pelas atividades cotidianas, podendo ser de origem domiciliar ou de limpeza urbana. O volume e a composição dos RSU dependem, principalmente, dos fatores econômicos, sociais e culturais de cada região, podendo ser completamente distintos dentro de municípios de um mesmo estado, por exemplo.

A Região Norte do Brasil apresenta uma menor geração *per capita* de RSU quando comparada à média nacional. Segundo dados divulgados pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) em 2019, cada habitante produz, em média, 0,884 kg_{RSU} por dia nessa região, enquanto este mesmo índice, a nível nacional, corresponde a 1,039 kg_{RSU}/habitante por dia. No presente estudo, após levantamento de informações a nível municipal, identificou-se que a geração *per capita* média para os nove estados analisados é de 0,870 kg_{RSU}/habitante por dia.

Além de compreender o volume de resíduos gerados, é importante analisar a composição desses substratos – ou seja, conhecer o percentual de matéria orgânica presente no RSU, pois é essa fração que poderá ser convertida em biogás, em particular, ao gás metano (CH₄). O percentual médio de matéria orgânica identificada, considerando os municípios da Amazônia Legal, foi de 49%. Desse modo, metade de todo o volume de RSU gerado nesses estados pode ser utilizado para a produção de biogás.

3.1.1. Potencial de produção de biogás - RSU

O potencial de produção de biogás dos estados em análise, a partir dos RSU, acumula o valor de aproximadamente 527,7 milhões de Nm³ por ano. A Figura 1 apresenta o potencial de produção de biogás por estado.

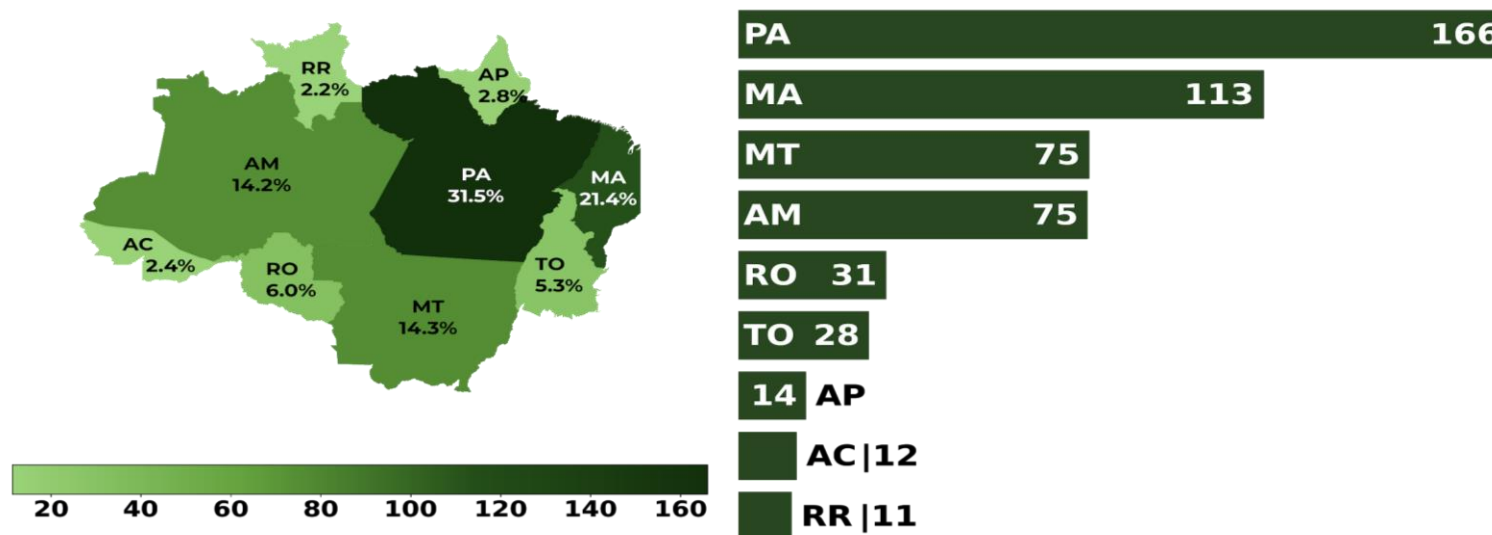


Figura 1 - Potencial de produção de biogás por estado para RSU, resultado expresso em milhões de Nm³ por ano

A partir das informações expressas na Figura 1, verifica-se que o estado do **Pará acumula 31% do potencial dos estados analisados**, figurando-se como a unidade federativa da Amazônia Legal que mais se destaca nesse substrato. Ressalta-se que esse fato está atrelado à sua grande concentração demográfica.

O Quadro 1, a seguir, apresenta o potencial de produção de biogás e as suas equivalências energéticas para cada estado da Amazônia Legal analisado.

Quadro 1 - Potencial de produção de biogás e respectivas equivalências energéticas

UF	Biogás (Nm ³ ano ⁻¹)	Biometano (Nm ³ ano ⁻¹)	Volume de biogás equivale a:			
			Diesel (Litros)	Energia Elétrica (kWh)	Residências ⁴ (unidades)	GLP (botijões de 13kg)
AC	12.503.076	9.418.057	8.193.710	25.950.133	12.949	478.148
AP	14.513.455	10.932.393	9.511.182	30.122.675	15.031	555.029
AM	75.043.818	56.527.448	49.178.880	155.753.445	77.721	2.869.855
MA	113.036.512	85.145.794	74.076.841	234.607.280	117.070	4.322.786
MT	75.433.635	56.821.081	49.434.341	156.562.510	78.125	2.884.763
PA	166.017.136	125.053.938	108.796.926	344.568.567	171.940	6.348.892
RO	31.725.983	23.897.889	20.791.164	65.847.278	32.858	1.213.277
RR	11.414.297	8.597.924	7.480.194	23.690.373	11.822	436.510
TO	28.019.834	21.106.198	18.362.393	58.155.166	29.020	1.071.545
To tal	527.707.747	397.500.723	345.825.629	1.095.257.428	546.536	20.180.806

⁴ Potencial número de residências atendidas com energia elétrica, considerando o consumo de 167 kWh/mês.

Na Figura 2, são apresentadas análises ao nível municipal para avaliar o potencial de cada estado na produção de biogás

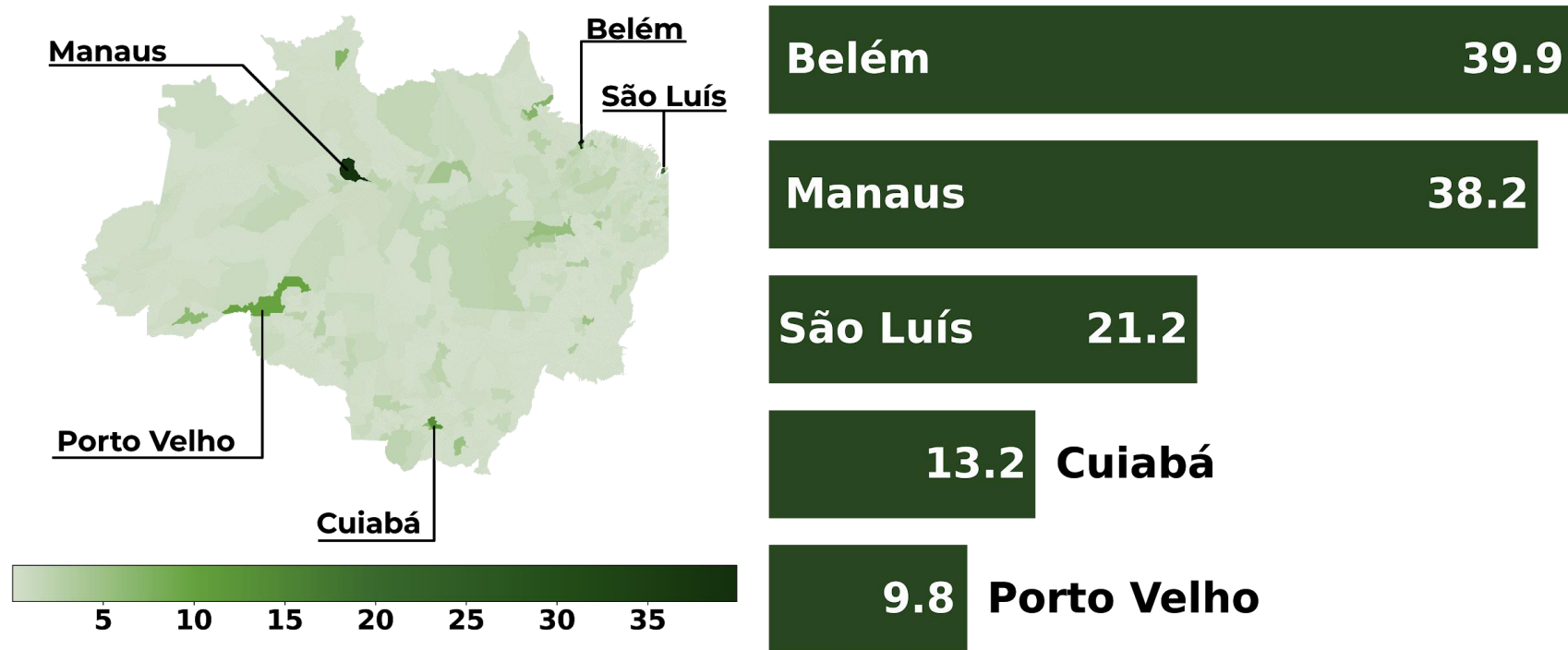


Figura 2 - Potencial da geração de biogás a partir de RSU por município, em milhões de Nm³ por ano

O Pará tem potencial para produzir até 166 milhões Nm³ de biogás anualmente a partir dos RSU. Nesse estado, Belém se destaca com potencial de quase 40 milhões de Nm³ por ano. **Apenas o potencial da capital seria o suficiente para atender 41.324 residências ou para substituir mais de 26 milhões de litros de diesel.**

Para o estado do Maranhão, o potencial é de **113 milhões de Nm³ de biogás por ano**, concentrados, principalmente, nos municípios de São Luís, Imperatriz, São José do Ribamar, Paço do Lumiar e Codó. A capital é destaque, assim como nos demais estados, com 18% do potencial estadual.

No Mato Grosso, o potencial anual de 75 milhões Nm³ de biogás é bastante descentralizado. Cuiabá, Várzea Grande, Rondonópolis, Sinop e Tangará da Serra são os principais municípios, os quais, juntos, acumulam 38% do potencial do estado – destacando-se que apenas o valor estimado para Cuiabá seria o suficiente para gerar energia elétrica para até 13.693 residências.

O potencial amazonense de produção de biogás, a partir do RSU, é de aproximadamente **75 milhões de Nm³/ano**. Cabe destacar que, se esse volume fosse purificado para biometano, seriam produzidos aproximadamente **155 mil Nm³ por dia**, um volume suficiente para suprir, com folga, a demanda não-térmica (automotiva, residencial, industrial e comercial) de gás natural no estado – o qual, em 2019, teve um consumo médio de 114,5 mil m³/dia⁵. Esse volume seria o suficiente para suprir **3% da demanda térmica** (geração de termoeletricidade) desse estado, que, em 2019, consumiu em média 4,5 milhões m³ de gás natural por dia. Esse potencial de biogás também representa a geração de 156 GWh por ano, que seria **o suficiente para abastecer 77.721 residências com energia elétrica**.

A capital, Manaus, é o município com o maior potencial no estado, acumulando **38,2 milhões de Nm³ de biogás por ano** – ou **78,7 mil Nm³ de biometano por dia**. Destaca-se, ainda, que seu potencial de biometano atenderia a **78% da demanda de gás natural de todo o setor industrial amazonense**.

⁵ CIGAS, 2019. Relatório Administrativo 2019.

O potencial estadual de produção de biogás de Rondônia é igual a **31,7 milhões de Nm³ por ano**, um volume suficiente para produzir **65,8 GWh**, caso fosse utilizado para a produção de eletricidade. A capital, Porto Velho, concentra **31% de todo o potencial do estado**, podendo produzir **9,82 milhões de Nm³ por ano**. Outros municípios que se destacam são Ji-Paraná, Ariquemes, Vilhena e Cacoal.

O estado de Tocantins possui potencial anual de produção de biogás igual a **28 milhões de Nm³**. Destaca-se que aproximadamente 46% dele está concentrado na capital Palmas e nos municípios de Gurupi, Araguaína, Porto Nacional e Paraíso do Tocantins.

No Amapá, a capital Macapá é o município com o maior potencial: **7 milhões de Nm³ de biogás por ano**, montante que representa **48% de todo o potencial do estado**. Outros municípios que se destacam são Santana, Laranjal do Jari, Oiapoque e Porto Grande.

Assim como nos outros estados, a cidade que concentra o maior potencial de produção de biogás no Acre é a sua capital, Rio Branco. Seriam aproximadamente **6 milhões de Nm³** de biogás por ano, valor que corresponde à metade do potencial estadual.

O estado de Roraima possui um índice de geração de RSU per capita igual a $0,88 \text{ kg}_{\text{RSU}} \cdot \text{habitante}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$, um resíduo composto por **55,39% de matéria orgânica**. Destaca-se que, dentre os estados analisados, Roraima é o que apresenta os resíduos com a maior parcela de orgânicos em sua composição. O potencial de geração de biogás a partir deste substrato é de **11,4 milhões de Nm³ por ano**. Caso todo esse volume de biogás fosse explorado e direcionado para a conversão de energia elétrica, poderiam ser **gerados cerca de 23,69 GWh**, um montante suficiente para abastecer um total de **11.822 residências populares**. A capital, Boa Vista, foi o município que apresentou o maior potencial acumulado no estado de Roraima, com aproximadamente **7 milhões de Nm³ de biogás** anuais, o que corresponde a **61% do potencial estadual**. Ressalta-se que o potencial dos RSU dessa cidade seria o suficiente para suprir o **consumo de energia elétrica** de um

município com **21.889 habitantes**.

Assim, é possível verificar o grande potencial de produção de biogás a partir de RSU nesses nove estados. Entretanto, é necessário salientar que o tratamento de RSU envolve fatores econômicos e políticos que, por muitas vezes, impossibilitam que municípios de pequeno porte tenham unidades para realizar a disposição e/ou aproveitamento dos seus rejeitos adequadamente. Por essa razão, muitos municípios não dispõem os seus RSU em território próprio, destinando-os para cidades vizinhas.

Desse modo, para identificar as oportunidades, este estudo optou por avaliar não apenas o potencial de RSU de cada município, mas também verificar qual é a conjuntura do tratamento e da disposição de rejeitos nesses estados.

3.1.2. Panorama de RSU e oportunidades para o aproveitamento

Esta seção apresentará a atual conjuntura do tratamento de RSU nos estados da Amazônia Legal. Destaca-se que, nesta análise, foram consideradas apenas as unidades que recebem **resíduos sólidos domiciliares e resíduos públicos**, segundo dados do SNIS 2018.

Os RSU são depositados em três tipos diferentes⁶ de unidades: os lixões, os aterros controlados e os aterros sanitários. Ao analisar a Figura 3, é possível verificar que os **lixões** são a forma de disposição de resíduos mais comum nos estados apurados, acumulando **243 estabelecimentos**. Além disso, é possível identificar a presença de **51 aterros controlados** e **apenas 25 aterros sanitários**.

⁶ Lixões são locais de disposição de resíduos a céu aberto – ou seja, nesses locais, os resíduos são simplesmente depositados sobre o solo. Os aterros sanitários são unidades adequadas para tratamento de RSU, pois possuem impermeabilização do solo, recobrimento do material disposto, coleta/tratamento de gases e chorume. Por fim, os aterros controlados são locais cobertos e, portanto, parcialmente adequados para disposição de resíduo; porém, na maioria das vezes, não há impermeabilização do solo e nem coleta de gases e de chorume.

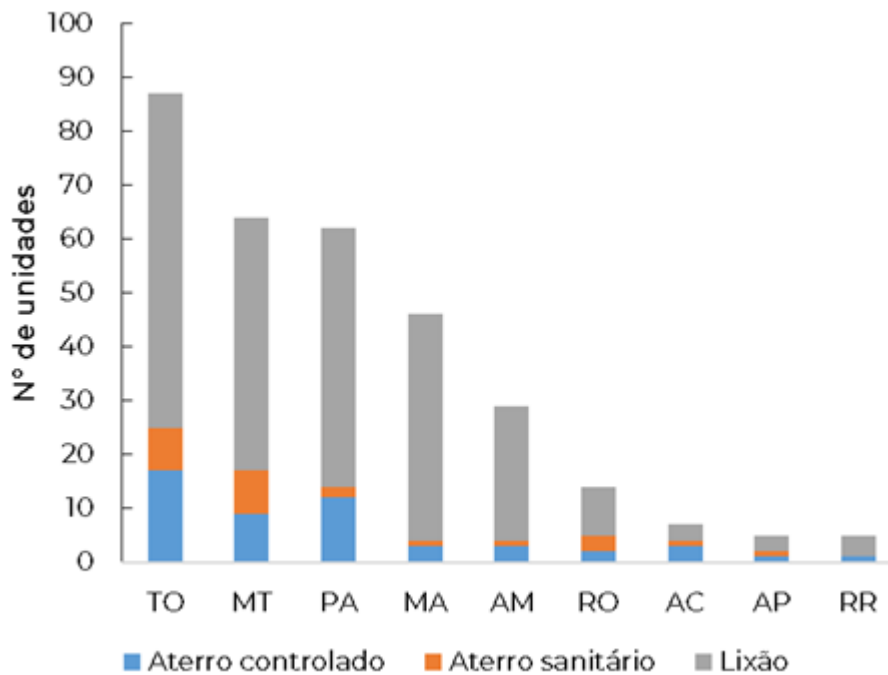


Figura 3 - Caracterização de unidades de deposição dos RSU por tipo e por estado

Apesar de os lixões serem a categoria com o maior número de estabelecimentos, são os aterros sanitários que recebem o volume mais expressivo de RSU (Figura 4).

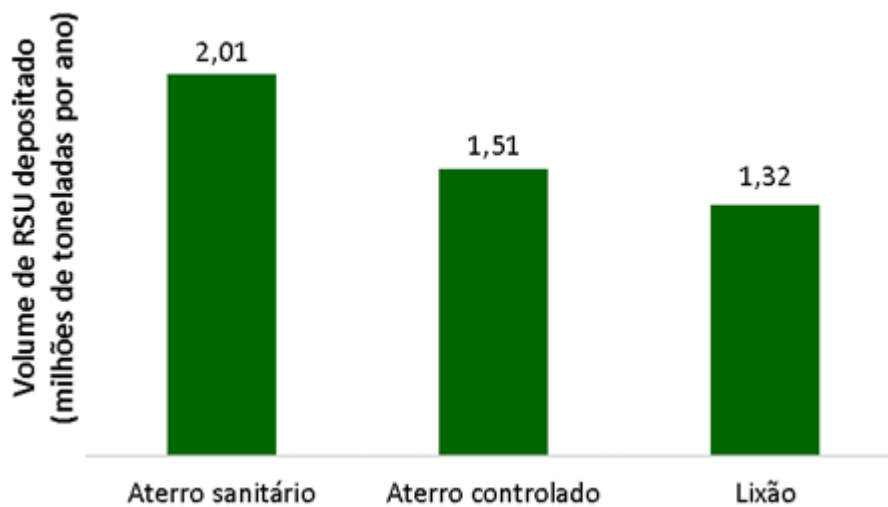


Figura 4 - Volume de RSU dispostos por tipo de unidade

Os **aterros sanitários** dos estados avaliados recebem aproximadamente 2 milhões de toneladas por ano, enquanto os **aterros controlados e os lixões** recebem **1,5 milhão e 1,3 milhão de toneladas de RSU**, respectivamente (Figura 4). O volume de resíduos depositado por tipo de estabelecimento e estado é apresentado na Figura 5.

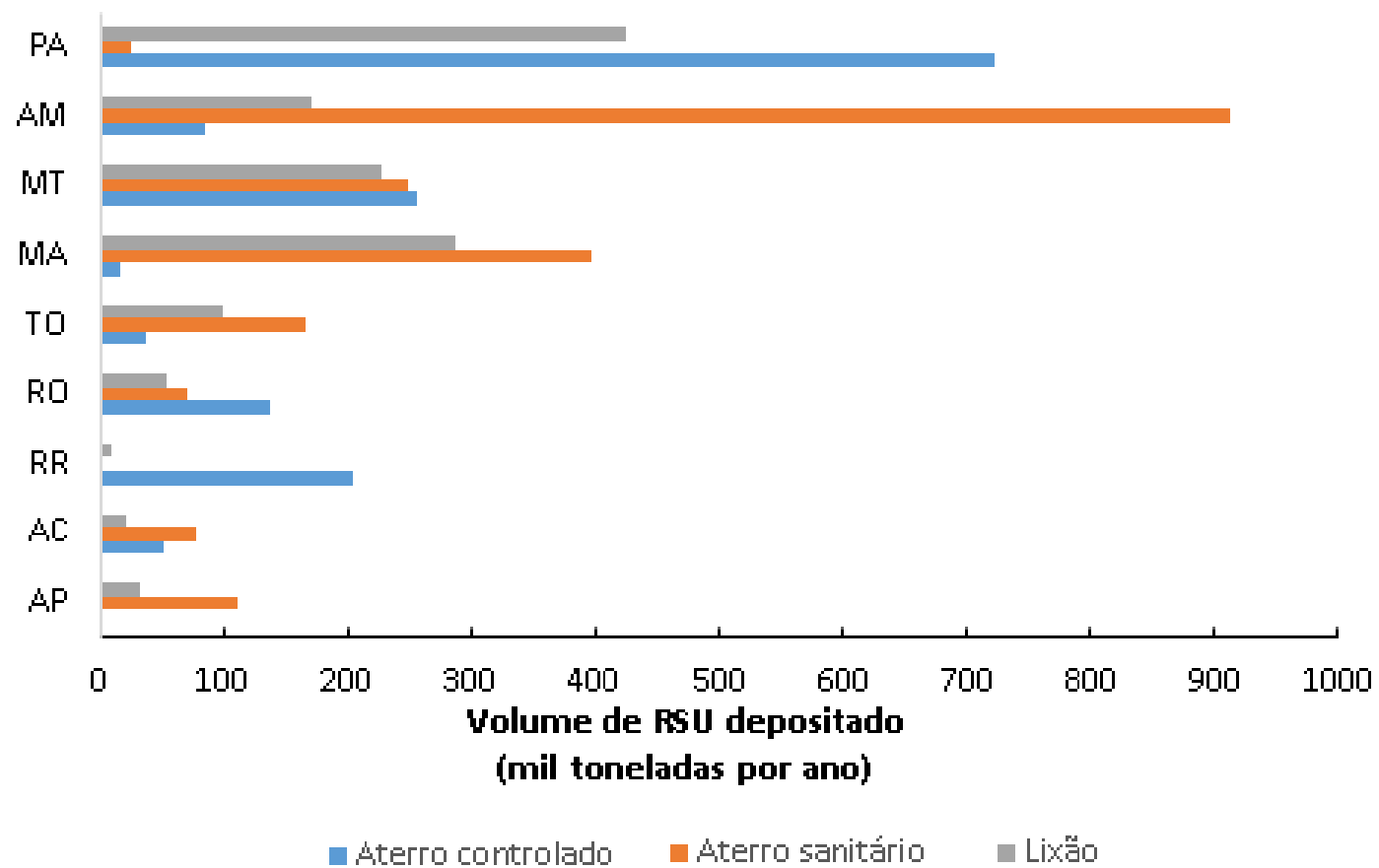


Figura 5 - Volume de resíduos disposto por tipo de unidade e por estado.

Se, por um lado, o Amazonas é o estado que mais destina resíduos para **aterros sanitários (912 mil toneladas por ano)**, por outro, o Pará é o estado que mais dispõe os seus resíduos em lixões (424 mil toneladas anualmente).

É importante ressaltar que os gases da decomposição dos RSU – por exemplo, o metano – são produzidos em todos os tipos de unidades (lixões, aterros sanitários e aterros controlados) e, na maioria das vezes, são emitidos diretamente para a atmosfera pela ausência de camada de recobrimento e de sistemas de drenagem⁷. Esses sistemas são responsáveis por **captar e por transportar o gás** do seu ponto de geração até o sistema de aproveitamento energético (caso não haja, o gás é direcionado para *flares*, ou seja, é queimado), caracterizando-se, assim, como um **requisito básico para os projetos de biogás em aterros**.

A Figura 6 apresenta o número de unidades distribuídas entre os 9 estados que declararam ter um sistema de drenagem de gases⁸.

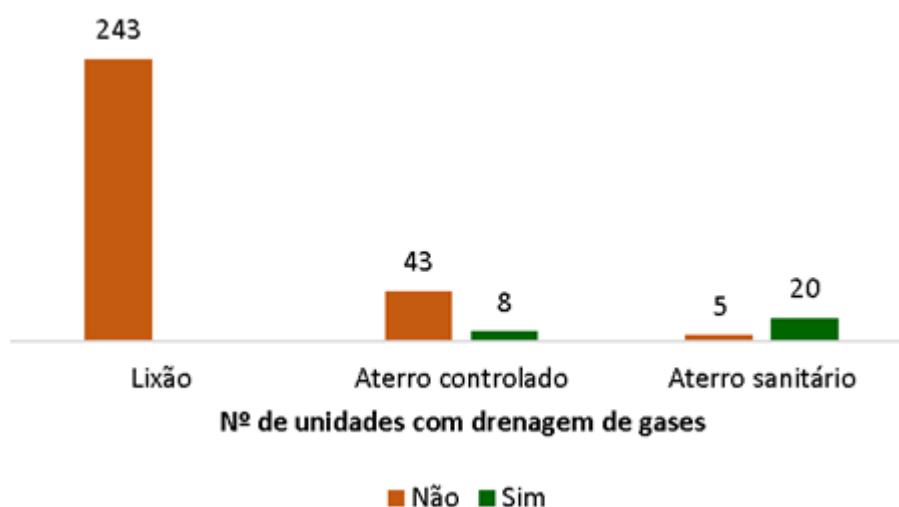


Figura 6 - Número de unidades com drenagem de gases por tipo.

⁷Segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), o gás metano (CH₄), enquanto gás de efeito estufa, é 34 vezes mais prejudicial ao meio ambiente do que o gás carbônico (CO₂).

⁸Nesse ponto específico, a base de dados do SNIS (2018) foi atualizada, pois o aterro sanitário de Manaus possui um sistema de captação de gases e realiza o seu aproveitamento energético.

Considerando a composição tecnológica dessas unidades, nenhum dos lixões possui drenos para a coleta de gases. Por outro lado, oito aterros controlados e vinte aterros sanitários afirmam dispor dessa tecnologia em suas unidades.

Apesar de alguns estabelecimentos apresentarem captação de gases, a aplicação energética do biogás gerado nessas unidades é bastante incipiente. Dentre todas as instalações analisadas, apenas os aterros de Manaus (AM) e de Rosário (MA) realizam o aproveitamento energético do biogás. O aterro de Manaus recebe aproximadamente **912 mil toneladas de resíduos por ano** e possui potência instalada de **3 MW**; já o de Rosário recebe 397 mil toneladas anualmente e possui potência de 1 MW.

A partir das análises de potencial e da conjuntura do tratamento de RSU, podemos observar que grande parte do potencial desses nove estados é desperdiçada, uma vez que apenas dois aterros sanitários utilizam o biogás produzido em suas unidades. **Desse modo, é possível afirmar que cerca de 497 milhões de Nm³ de biogás (94% do total) não são energeticamente aproveitados**, e tal volume seria o suficiente para fornecer energia elétrica a aproximadamente 514 mil residências, ou substituir 374 milhões de m³ de gás natural.

O Quadro 2 apresenta as características dos dez estabelecimentos com o maior potencial de produção de biogás, e a Figura 7 ilustra a disposição geográfica de cada um.

Quadro 2 - Caracterização das unidades com o maior potencial de produção de biogás

ID	Tipo de unidade	Município/UF	RSU (Mil toneladas/ano)	Material orgânico	Potencial de Biogás (Milhões Nm ³ /ano)	Projeto de biogás existente
1	Aterro sanitário	Manaus/AM	912	47%	50	Sim
2	Aterro controlado	Marituba/PA	462	56%	31	Não
3	Aterro sanitário	Rosário/MA	397	45%	21	Sim
4	Aterro controlado	Boa Vista/RR	204	51%	12	Não
5	Aterro controlado	Cuiabá/MT	168	53%	11	Não
6	Aterro controlado	Porto Velho/RO	112	48%	6	Não
7	Aterro sanitário	Macapá/AP	110	58%	8	Não
8	Aterro sanitário	Sorriso/MT	109	48%	6	Não
9	Aterro sanitário	Palmas/TO	85	49%	5	Não
10	Lixão	Castanhal/PA	84	50%	5	Não

Fonte: Adaptado de SNIS, 2018.

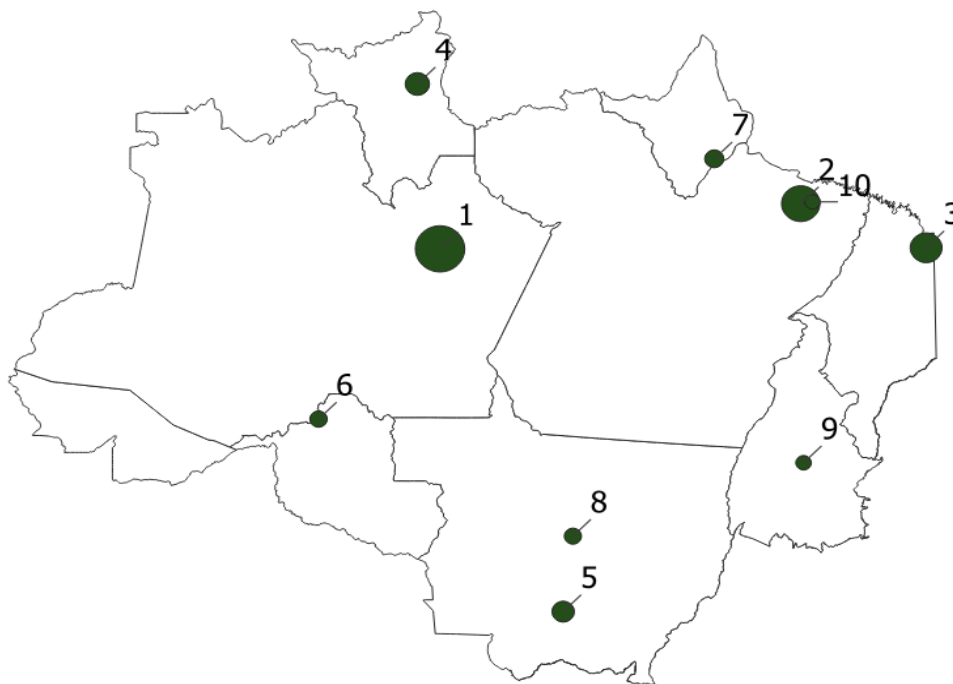


Figura 7 - Disposição geográfica das unidades com o maior potencial de

produção de biogás

No caso dos aterros sanitários e aterros controlados que não efetuam a coleta e não aproveitam energeticamente os resíduos, seria necessária a exploração da área, de modo a construir toda a infraestrutura. Em linhas gerais, as principais atividades que possibilitariam o aproveitamento energético nessas unidades são a instalação de sistemas de drenagem verticais e horizontais, bem como o equipamento para o aproveitamento do biogás.

Os sistemas de drenagem verticais podem ser construídos por meio de uma perfuratriz, para instalar dutos de captação desde a camada de cobertura do aterro até a sua base. No caso da captação horizontal, são construídas trincheiras que servem como “berços” para os drenos. Todo o sistema de drenagem deve ser interligado.

Além de usar o potencial de aterros, é possível adotar uma estratégia de regularização dos lixões existentes – uma saída que é bastante oportuna, pois, segundo o “Novo Marco do Saneamento Básico”, os municípios que não possuem um Plano Intermunicipal de Resíduos Sólidos (PIRS) ou um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) deveriam encerrar os seus lixões até o fim de 2020. Já os municípios que tiverem PIRS ou PMGIRS têm prazos mais extensos, que dependem do respectivo número de habitantes.

Outra opção é estudar a instalação de novas unidades, ainda que seja um processo mais oneroso – o que pode ser minimizado por meio de arranjos intermunicipais, na forma de consórcios para a agregação de pequenos municípios. Nesse sentido, buscando sugerir novas áreas para a instalação de aterros sanitários, foi consultado o Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) de cada unidade federativa aqui analisada (SEDAM, 2020). O Anexo 1 apresenta o quadro com a descrição das macro áreas com o potencial para instalação de aterros sanitários, considerando arranjos coletivos ou individuais (para os estados que fornecem essa informação).

É importante destacar, ainda, que o biogás a partir de RSU pode ser produzido em distintos arranjos tecnológicos, ressaltando-se a possibilidade de implantação de centrais de triagem para maximizar o aproveitamento da matéria orgânica e destinar uma pequena parcela dos resíduos para as células do aterro (inertes). Em contrapartida, essa modalidade exige um intenso exercício de inteligência territorial e requer o máximo aproveitamento das possíveis receitas disponíveis. Portanto, monetizar o biogás produzido durante a disposição correta dos resíduos pode ser um diferencial para viabilizar a regularização ou a construção de unidades de tratamento de RSU.

Diante do disposto neste tópico, é possível afirmar que há uma grande diferença entre o potencial total, o volume prontamente disponível (unidades com sistemas de drenagem) e o montante aproveitado energeticamente de biogás (Figura 8).

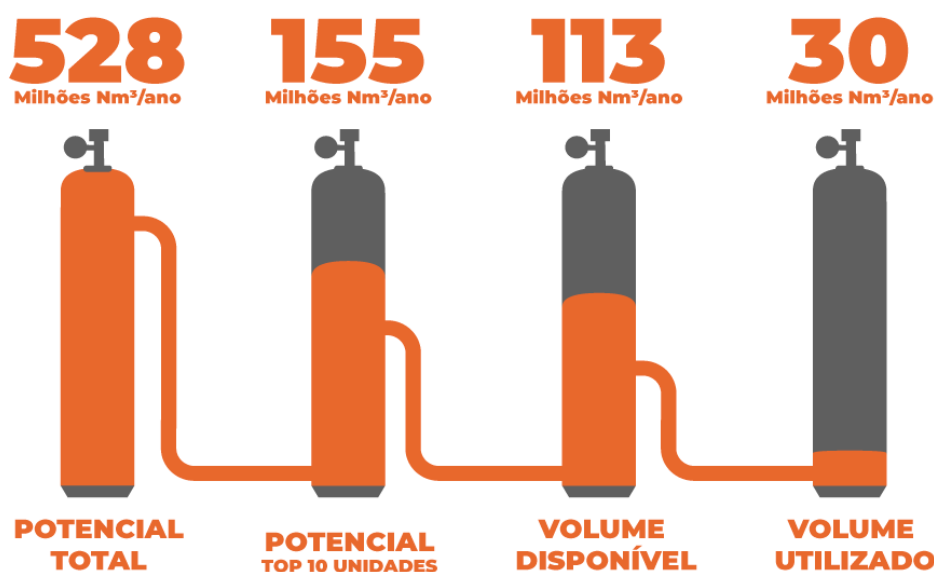


Figura 8 - Síntese das estimativas de potencial e de utilização de biogás nos estados na Amazônia Legal

As dez unidades destacadas neste estudo acumulam 29% do potencial estimado para os nove estados. Outro ponto de relevância é que apenas 21% do potencial total é coletado por sistemas de drenagem, estando, portanto,

prontamente disponível para receber aplicações energéticas. O volume atualmente utilizado é ainda menor (6%), pois, conforme citado, apenas os Aterros de Manaus e Rosário aproveitam energeticamente o biogás produzido em suas unidades.

3.1.3. Case: Estado do Amapá

Considerando a grave crise energética vivida pelo estado do Amapá em novembro de 2020, a oportunidade de destaque identificada para os RSU foi no aterro de Macapá/AP. A Figura 9 apresenta uma imagem aérea da unidade.



Figura 9 - Aterro de Macapá

Fonte: Google, 2020.

O Aterro de Macapá recebe, anualmente, 109.847 toneladas de RSU, um resíduo com o potencial de produzir até **7,57 milhões de Nm³ de biogás por ano**. Esse volume de biogás poderia gerar, anualmente, 15,7 GWh – energia elétrica suficiente para atender 7.844 residências, o equivalente a **23.816 habitantes (5%**

da população de Macapá). As equivalências energéticas deste volume estão expressas no Quadro 3.

Quadro 3 - Caracterização do potencial da unidade e as suas equivalências energéticas

UF	Biogás (Milhões Nm ³ ano ⁻¹)	Biometano (Milhões Nm ³ ano ⁻¹)	Volume de biogás equivale a:			
			Diesel (Milhões Litros)	Energia Elétrica (GWh)	Residências (unidades)	GLP (botijões de 13kg)
AP	7,5	5,7	5	15,7	7.844	289.622

A operação da unidade é terceirizada para a iniciativa privada, que conta com 12 caminhões compactadores para realizar a coleta dos resíduos – veículos esses que poderiam ser convertidos de diesel para biometano. Além disso, outra possibilidade de aplicação do biogás é a geração de eletricidade, a qual pode aumentar a segurança energética da unidade, da população e/ou das empresas da região. A geração de energia elétrica a partir do biogás é um mecanismo interessante sob o ponto de vista do suprimento energético: arranjos contemplando a obtenção de energia a partir do biogás em momentos em que o fornecimento pela concessionária é comprometido podem minimizar impactos relevantes no território.

3.2. AGROINDÚSTRIA - ABATE DE PEIXES EM FRIGORÍFICOS

A produção de peixe é uma atividade relevante para a região amazônica, sendo um importante elemento na demanda alimentar e econômica dessa região. A piscicultura produziu **159.847 toneladas de peixes em 2019**⁹ nos estados da Amazônia Legal, sendo o tambaqui – peixe nativo da região – a principal espécie produzida, representando 51% em relação ao total de peixes da região amazônica. Dentre os estados avaliados, Mato Grosso é o líder em quantidade na produção da espécie.

Com relação à organização da cadeia produtiva na região, é necessário destacar que, de maneira geral, os piscicultores negociam o seu produto com atravessadores, os quais, posteriormente, o revendem para abate em frigoríficos, mercados, peixarias, restaurantes e feiras.

O processo de abate de peixes resulta na geração de resíduos, compostos principalmente por vísceras, cabeça, nadadeiras, cauda, coluna vertebral, barbatana, escamas e restos de carne, com o volume variando conforme as diferentes espécies capturadas. Esses resíduos foram considerados para estimar o potencial de biogás neste estudo. É importante ressaltar que apenas uma pequena parcela dos peixes é destinada para os frigoríficos nessa região, visto que uma característica cultural é a compra do peixe em feiras, mercados e peixarias. Assim, grande parcela dos peixes é abatida em unidades de pequeno porte, o que descentraliza a geração dos resíduos.

O aproveitamento energético dos resíduos produzidos em estabelecimentos de pequeno porte é viabilizado por meio da instalação de biodigestores de pequena escala (equipamentos prontamente disponíveis comercialmente), os quais permitem o suprimento local de energia – em geral, térmica, substituindo o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) em processos de cocção. O impacto socioambiental de arranjos, seguindo tal configuração, é extremamente relevante; porém, essa configuração não será contemplada no presente substrato.

⁹ IBGE, 2020. Produção da aquicultura, por tipo de produto - Tabela 3940.

Considerando que os frigoríficos são os locais nos quais há a maior centralização de substratos, esses foram os estabelecimentos estudados para identificar o potencial de produção de biogás a partir deste substrato, nos estados da região amazônica. No Quadro 4, são apresentadas as informações sobre a quantidade de frigoríficos identificados por estado, bem como a respectiva capacidade de abate e o volume de resíduos produzidos.

Quadro 4 - Caracterização das unidades de frigoríficos avaliadas por estado

Estado ¹⁰	Frigoríficos	Abate de Peixe (ton/ano)	Resíduos (ton/ano)
Acre	1	525	296
Amapá	9	6.689	2.706
Amazonas	15	18.226	10.262
Mato Grosso	19	14.432	8.126
Pará	14	5.120	2.883
Rondônia	5	12.660	7.128
Roraima	1	114	64
Tocantins	2	4.200	2.365
TOTAL	66	61.966	33.830

Para os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins, foram levantadas informações de 66 frigoríficos¹¹, os quais abatem 61.966 toneladas de peixes por ano e são responsáveis pela geração de aproximadamente 33.830 toneladas de resíduos sólidos anualmente.

¹⁰ Devido à não obtenção de dados sobre o abate de peixes nos frigoríficos do Maranhão, o estado não comporá os resultados desta etapa.

¹¹ Informações levantadas junto ao Serviço de Inspeção Federal e o apoio do Instituto de Extensão, Assistência e Desenvolvimento Rural do Amapá, da Secretaria de Produção Rural do Amazonas, Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico de Mato Grosso, Inspeção de Produtos de Origem Animal e Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal de Tocantins.

3.2.1. Potencial de Produção de Biogás - Abate de peixes em frigoríficos

Considerando o volume de peixes abatidos nesses frigoríficos, o potencial de produção de biogás nos estados da região amazônica **acumula o valor de aproximadamente 6,1 milhões de Nm³ de biogás por ano** (Quadro 5). A Figura 10 apresenta o potencial de produção de biogás estadual das unidades em análise.

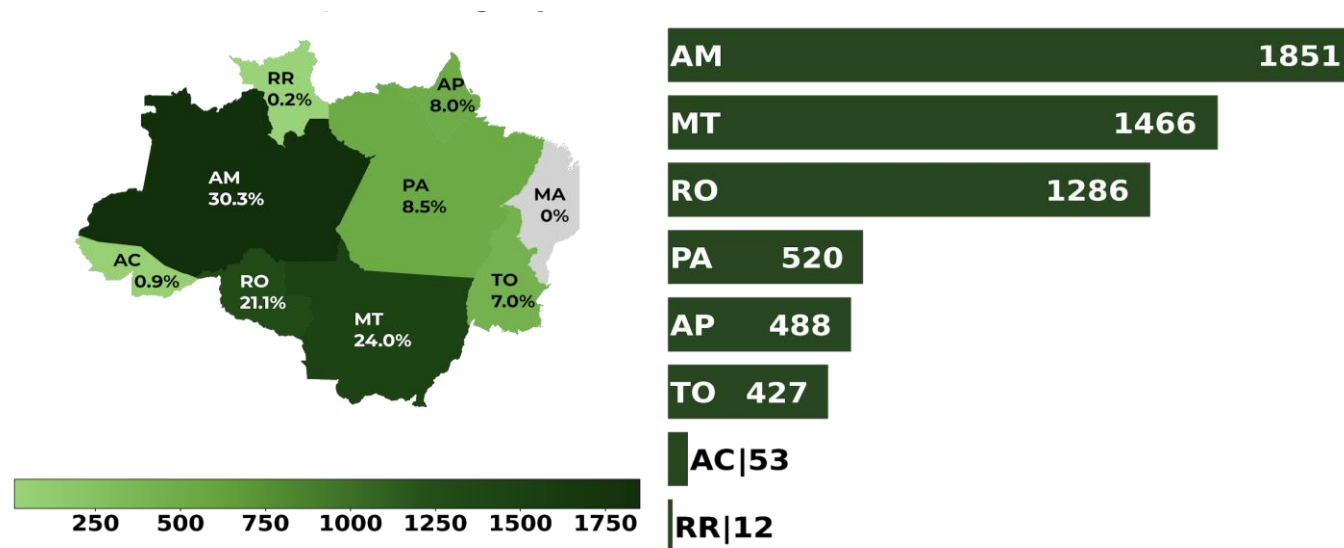


Figura 10 - Potencial estadual de produção de biogás a partir de resíduos do abate de peixes (Mil Nm³/ano)

Em termos energéticos, esses resultados apresentam a possibilidade de aproveitar o biogás para a geração de energia elétrica e térmica, bem como combustível veicular. O Quadro 5 apresenta essas equivalências energéticas por estado.

Quadro 5 - Potencial de produção de biogás e as suas respectivas equivalências energéticas por estado.

UF	Biogás (Nm ³ ano ⁻¹)	Biometano (Nm ³ ano ⁻¹)	Volume de biogás equivale a:			
			Diesel (Litros)	Energia Elétrica (kWh)	Residências ¹² (unidades)	GLP (botijões de 13kg)
AC	53.316	29.499	25.664	110.658	55	1.498
AP	488.026	270.014	234.912	1.012.897	505	13.708
AM	1.850.942	1.024.085	890.954	3.841.631	1.917	51.992
MT	1.465.608	810.889	705.473	3.041.870	1.518	41.168
PA	519.939	287.671	250.274	1.079.134	538	14.605
RO	1.285.702	711.350	618.875	2.668.474	1.332	36.114,7
RR	11.552	6.391	5.560	23.976	12	324
TO	426.529	235.989	205.311	885.262	442	11.981
Total	6.101.614	3.375.888	2.937.023	12.663.902	6.319	171.391

O Amazonas é o estado que concentra o maior volume de biogás, acumulando 30,3% do potencial total da região. O estado abate aproximadamente **18 mil toneladas de peixes**, o que representa o potencial de produção de **1,9 milhão de Nm³ de biogás ao ano** e a **geração de 3,8 GWh** de energia elétrica, o suficiente para abastecer 1.917 residências. A região do **Centro e Sudoeste Amazonense** concentra o maior potencial de produção de biogás do estado. A cidade de Manacapuru, no estado do Amazonas, detém o maior potencial de produção de biogás de toda região amazônica (Figura 11), com capacidade de produzir **854 mil Nm³/ano de biogás** (18% do potencial estadual), que se destinado a geração de energia elétrica, poderia suprir a demanda de 883 residências por ano na cidade. O

¹² Potencial número de residências atendidas com energia elétrica, considerando o consumo médio de 160 kWh/mês.

segundo município com maior potencial de produção de biogás do estado do Amazonas é **Jutaí, com 799 mil Nm³ por ano.**

Mato Grosso, estado com o maior número de frigoríficos com dados levantados – 19 unidades (Quadro 4) – conta com um potencial de **1,5 milhão de Nm³ de biogás por ano**, o que representa a geração de **3.041 MWh de energia elétrica**, ou seja, energia suficiente para o abastecimento de **1.518 residências**. O município de Sorriso se destaca no estado, representando 49% do potencial total.

O estado de Rondônia acumula cerca de **1,3 milhão de Nm³ de biogás ao ano**, e, em termos energéticos, equivale a **2.668 MWh de energia elétrica**, o que poderia ser aproveitado, pelo setor, para reduzir os custos de refrigeração dos peixes em estabelecimentos desse segmento.

O potencial de produção de biogás do Pará é de cerca de **520 mil Nm³/ano**, potencial suficiente para gerar **1,1 GWh de energia elétrica por ano**, ou seja, energia que atenderia cerca de **538 residências**.

O Amapá conta com nove frigoríficos com informações disponíveis sobre o abate de peixes (Quadro 4), localizados em Calçoene, Macapá e Oiapoque. Conjuntamente, esses municípios abatem 6.689 toneladas por ano, volume correspondente à geração de aproximadamente 2.705,81 toneladas de resíduos – o que representaria **488 mil Nm³ de biogás** e a **geração de 1 GWh por ano de energia elétrica**.

Tocantins possui o potencial de produção de **427 mil Nm³/ano de biogás**, proveniente dos resíduos do abate de peixes, que poderia suprir a demanda energética de 442 residências.

O estado do Acre, com o abate anual de 525 toneladas de peixe, acumula o potencial de **53 mil Nm³ de biogás**, o suficiente para a geração de **111 MWh de energia elétrica ao ano**.

Roraima conta com apenas um frigorífico (Quadro 4), com o abate de aproximadamente 114 toneladas de peixes ao ano, resultando em um potencial de

produção de biogás de 11,6 mil Nm³/ano, o equivalente à geração anual de 24 MWh de energia elétrica.

A Figura 11 apresenta as cidades que se destacam na produção de biogás a partir dos resíduos do abate de peixes na região amazônica.

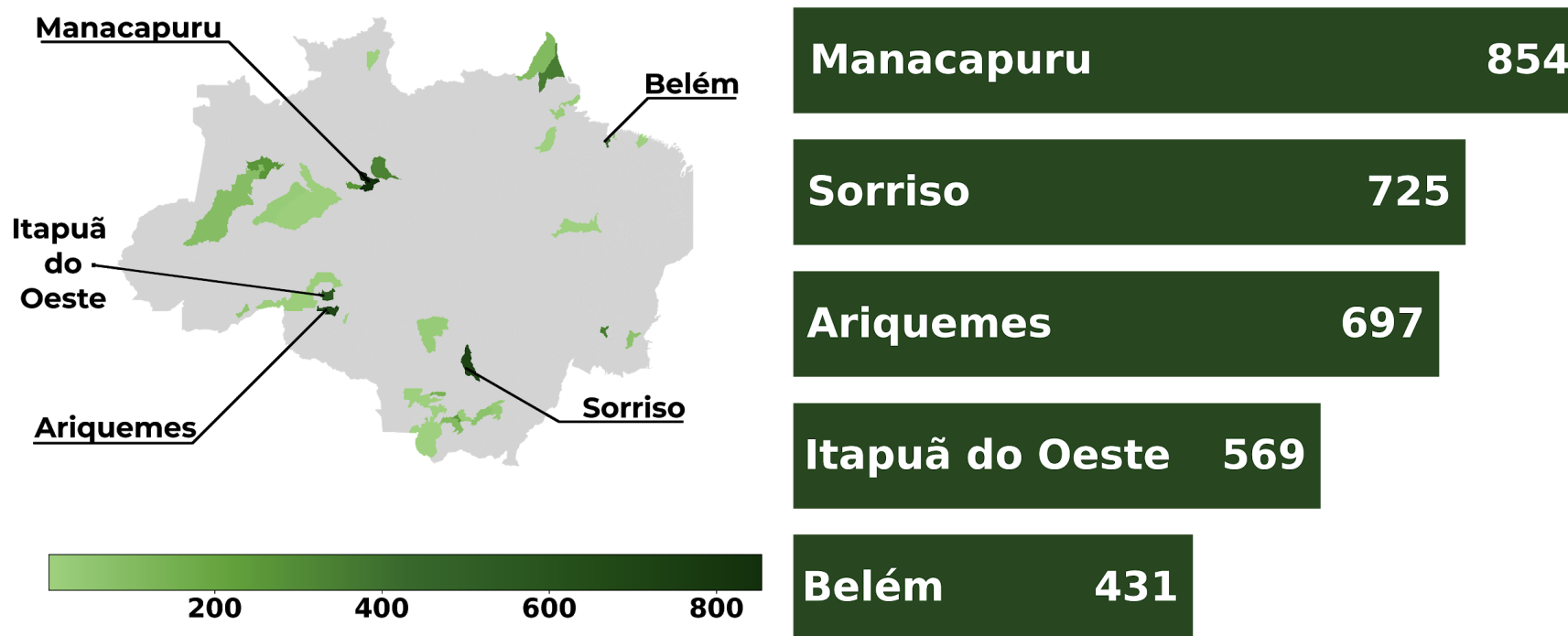


Figura 11 - Potencial municipal de produção de biogás a partir de resíduos do abate de peixes (Mil Nm³/ano)

O Quadro 6 destaca o ranking dos dez estabelecimentos com maior potencial de produção de biogás com resíduos do abate de peixes em frigoríficos da região amazônica. Dentre as cidades destacadas nesse ranking, quatro estão localizadas no estado do Amazonas, totalizando cerca de **1,5 milhão de Nm³/ano de biogás**.

Quadro 6 - Ranking dos dez estabelecimentos com maior potencial de produção de biogás a partir dos resíduos do abate de peixes em frigoríficos

ID	UF	Município	Potencial de Biogás (Nm ³ /ano)	Biometano (Nm ³ ano ⁻¹)	Volume de biogás equivale a:			
					Diesel (Litros)	Energia Elétrica (kWh)	Residências ¹³ (unidades)	GLP (botijões de 13kg)
1	AM	Manacapuru	799.743	442.480	384.957	1.659.866	828	22.464
2	MT	Sorriso	710.882	393.315	342.184	1.475.436	736	19.968
3	RO	Itapuã do Oeste	568.706	314.652	273.748	1.180.349	589	15.975
4	RO	Ariquemes	554.488	306.786	266.904	1.150.840	574	15.575
5	TO	Brejinho de Nazaré	355.441	196.658	171.092	737.718	368	9.984
6	AM	Anamã	266.581	147.493	128.319	553.289	276	7.488
7	AM	Fonte Boa	266.581	147.493	128.319	553.289	276	7.488
8	AP	Calçoene	216.434	119.748	104.181	449.210	224	6.080
9	PA	Belém	197.376	109.204	95.008	409.655	204	5.544
10	AM	Manaus	177.721	98.329	85.546	368.859	184	4.992

¹³ Potencial número de residências atendidas com energia elétrica, considerando o consumo de 167 kWh/mês.

No total, as dez cidades do ranking de potencial têm a capacidade de gerar, por ano, 4,1 milhões de Nm³/ano de biogás, correspondendo a 67% de todo o potencial da região amazônica.

3.2.2. Case: Frigorífico em Manacapuru

Uma unidade de Manacapuru, município localizado no centro amazonense que abate 7,8 mil toneladas de peixe ao ano, pode realizar o aproveitamento dos resíduos na produção anual de cerca 799 Nm³ de biogás.

Essa produção de biogás é o suficiente para atender parte da demanda energética da própria unidade, reduzindo custos com energia, suprimindo o consumo de **1,7 MWh de energia elétrica por ano** e apresentando a possibilidade de desenvolver um diferencial competitivo no setor.

3.3. AGROINDÚSTRIA - PRODUÇÃO DE FARINHA DE MANDIOCA

O Brasil é o segundo maior produtor de mandioca do mundo, com uma estimativa de produção de 19 milhões de toneladas no ano de 2020¹⁴. Na safra de 2019, os estados da região amazônica foram responsáveis por 39% da produção do país, com destaque para o estado do Pará, maior produtor nacional (3,7 milhões de toneladas)¹⁵.

A mandioca é um importante recurso da agricultura familiar em muitos estados, gerando impacto social e econômico para as regiões onde são produzidas. A farinha é um dos principais produtos derivados da mandioca. Popularmente, a principal variação deste produto é a farinha d'água, seca ou mista, podendo ser branca ou amarela, a depender da variação da raiz utilizada.

Na região amazônica, um número expressivo de famílias vive da produção de mandioca e seu processamento para obtenção de farinha e outros produtos, tanto para consumo próprio quanto para comercialização em feiras locais ou em outras regiões. A maior parcela das unidades produtoras de farinha nessa região corresponde a agroindústrias rurais conduzidas por essas famílias.

O processo produtivo da farinha de mandioca envolve diversas etapas que demandam energia elétrica – quando o processo produtivo é mecanizado – e energia térmica – para secagem e torrefação da farinha. Durante o processamento de mandioca, são gerados resíduos sólidos (casca, entrecasca, entre outros) e líquidos (manipueira, água de limpeza das raízes, entre outros). Neste estudo, a manipueira, que apresenta a maior concentração de matéria orgânica com alta toxicidade devido a presença de ácido cianídrico, será considerada para a produção de biogás. Já os resíduos sólidos, que são geralmente encaminhados para adubação de solo ou consumo animal e com alto potencial poluidor, não serão abordados.

¹⁴ CONAB, 2020. Análise Mensal – Mandioca. Fevereiro de 2020.

¹⁵ EMBRAPA, 2020. Produção Brasileira de Mandioca em 2019.

O Quadro 7 destaca o número de unidades produtoras de farinha nos estados da região amazônica, sua capacidade produtiva anual e a estimativa de geração de efluentes durante a produção de farinha nessas unidades.

Quadro 7 - Caracterização das unidades produtoras de farinha avaliadas nos estados

Estado	Unidades produtoras de farinha	Produção de Farinha (ton/ano)	Efluente* (m ³ /ano)
Acre	12.333	36.269	54.404
Amapá	3.954	10.895	16.343
Amazonas	50.473	97.726	146.589
Maranhão	69.526	62.728	94.092
Mato Grosso	1.801	5.723	8.584
Pará	78.868	263.728	395.592
Rondônia	1.137	3.697	5.545
Roraima	4.891	9.289	13.934
Tocantins	6.408	7.813	11.719
TOTAL	229.391	497.868	746.802

* Volume estimado referente exclusivamente à manipueira gerada no processo.

Os nove estados possuem mais de **229,3 mil casas de farinha**, as quais produzem anualmente cerca de **497,8 mil toneladas de farinha**, que geram aproximadamente **746,8 mil m³/ano de manipueira**. O estado do Pará comporta 34% das casas de farinha de toda a região.

3.3.1. Potencial de produção de biogás - fabricação de farinha de mandioca

O efluente gerado na produção de farinha de mandioca nos estados da região amazônica totalizam um **potencial de produção de biogás de 2,7 milhões de Nm³/ano**, o que equivale a 1,4 milhão de litros de diesel ou, se destinados à produção de energia elétrica, poderia gerar cerca de 5,7 GWh ao ano, o suficiente para abastecer 2,8 mil residências.

A Figura 12 apresenta o potencial estadual de produção de biogás a partir do efluente da indústria de farinha de mandioca na região amazônica.

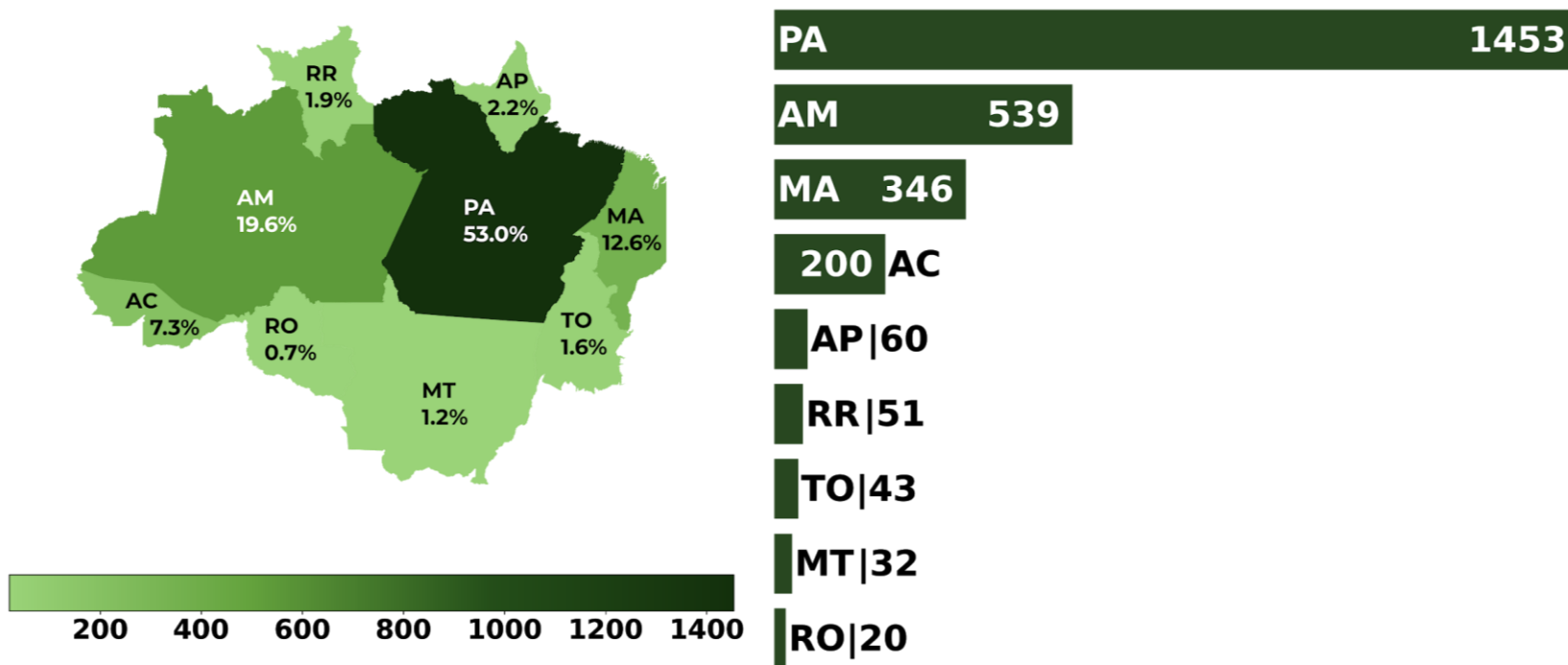


Figura 12 - Potencial de produção de biogás dos estados da região amazônica a partir dos resíduos da produção de farinha de mandioca. (Mil Nm³/ano)

O estado do Pará, maior produtor de farinha de mandioca da região amazônica, detém também o maior potencial de produção de biogás, correspondendo a 53% do total (1,5 milhão Nm³/ano). O biogás gerado nessas unidades poderia suprir 3 GWh ao ano de energia elétrica, o que seria suficiente para abastecer 1,5 mil residências por ano. O Quadro 8 destaca o potencial de produção de biogás para cada estado e suas equivalências energéticas.

Quadro 8 - Potencial de produção de biogás e as suas respectivas equivalências energéticas por estado

UF	Biogás (Nm ³ ano ⁻¹)	Biometano (Nm ³ ano ⁻¹)	Volume de biogás equivale a:			
			Diesel (Litros)	Energia Elétrica (kWh)	Residências ¹⁶ (unidades)	GLP (botijões de 13kg)
AC	199.867	119.920	104.330	414.825	207	6.088
AP	60.039	36.023	31.340	124.611	62	1.829
AM	538.538	323.123	281.117	1.117.737	558	16.405
MA	345.675	207.405	180.442	717.448	358	10.530
MT	31.537	18.922	16.462	65.456	33	961
PA	1.453.325	871.995	758.636	3.016.377	1.505	44.271
RO	20.373	12.223	10.634	42.284	21	621
RR	51.188	30.713	26.720	106.242	53	1.559
TO	43.055	25.833	22.474	89.360	45	1.312
Total	2.743.597	1.646.157	1.432.155	5.694.340	2.842	83.576

¹⁶ Potencial número de residências atendidas com energia elétrica, considerando o consumo de 167 kWh/mês.

O Amazonas é o segundo estado com maior potencial de produção de biogás, com cerca de 50,4 mil casas de farinha (agroindústria rural - Quadro 7), possuindo capacidade de gerar, por ano, 538,5 mil Nm³ de biogás – volume suficiente para substituir cerca de 16,4 mil botijões de GLP (13 kg). Nesse quesito, destacam-se as cidades de Parintins, Tefé e Coari, localizadas na região centro amazonense, que totalizam 15% do potencial estadual.

O estado do Maranhão detém um potencial de 345,7 mil Nm³/ano de biogás proveniente da fabricação de farinha, que poderia fornecer 158 tep¹⁷ de energia térmica (obtida a partir de queima direta de biogás) por ano e atender às próprias instalações industriais ou à demanda local. As cidades que se destacam no estado são: Pedro do Rosário, Tutóia e Barreirinhas, localizadas no norte maranhense, as quais, juntas, possuem o potencial de 32,6 mil Nm³/ano de biogás em 5,9 mil casas de farinha¹⁸.

O Acre possui o quarto maior potencial de produção de biogás proveniente do processamento de mandioca para a obtenção de farinha, com capacidade anual de 199,9 mil Nm³ de biogás. Se destinada à produção de biometano, tal capacidade poderia suprir a demanda de 119,9 mil m³/ano de gás natural. No estado, destacam-se as cidades de Cruzeiro do Sul, Tarauacá e Rodrigues Alves, todas localizadas na região do vale do Juruá, e que juntas totalizam 110,8 Nm³/ano de biogás (55% do potencial estadual).

O estado do Amapá possui um potencial de 60 mil Nm³/ano de biogás, proveniente das casas de farinha de mandioca, que poderia suprir a demanda de 1,8 mil botijões de cozinha por ano. As cidades de Macapá, Oiapoque e Mazagão, localizadas nas regiões sul e norte do Amapá, poderiam gerar, em conjunto, 30,3 mil Nm³/ano de biogás, representando 50% do potencial de todo o estado.

O potencial de produção de biogás do estado de Roraima é de cerca de **51,2 mil Nm³/ano**. As cidades Cantá, Bonfim e Uiramutã, localizadas no norte de

¹⁷ Tonelada Equivalente de Petróleo.

¹⁸ Pequenos estabelecimentos onde é produzida a farinha de mandioca.

Roraima, representam 53% do potencial do estado, totalizando 27,2 mil Nm³/ano. A capacidade de obtenção de biometano do estado, a partir do potencial de biogás das casas de farinha, tem equivalência energética condizente com **26,7 mil litros de diesel por ano**.

Em Tocantins, destacam-se as cidades de Riachinho, Babaçulândia e Aragominas, localizadas na região oeste, com 21% de seu potencial. O estado, que comporta 6,4 mil unidades produtoras de farinha de mandioca (Quadro 7), tem capacidade de produzir cerca de 43 mil Nm³/ano de biogás, energia equivalente a 22,5 mil litros de diesel por ano.

As unidades de produção de farinha do estado do Mato Grosso geram cerca de 8,5 mil m³/ano de efluentes que, se destinados à produção de biogás, poderiam produzir 31,5 mil Nm³/ano, volume equivalente a 16,5 mil litros de diesel. As cidades de Jaciara, Jangada e Confresa, localizadas no sudeste, centro-sul e nordeste mato-grossense, respectivamente, lideram o ranking de potencial do estado, no qual juntas totalizam 11,1 mil Nm³/ano (35% do total).

Rondônia concentra cerca de 1,1 mil casas de farinha, com potencial de produção de 20,4 mil Nm³/ano de biogás, que podem substituir 10,6 mil litros de diesel por ano. As cidades de Porto Velho, Guajará-Mirim e São Francisco do Guaporé, localizadas na região de Madeira-Guaporé, possuem o maior potencial do estado, totalizando 13,2 mil Nm³/ano – 65% do total estadual.

A Figura 13 apresenta as cidades que se destacam na região amazônica e seu respectivo potencial de produção de biogás, a partir dos resíduos da produção de farinha.

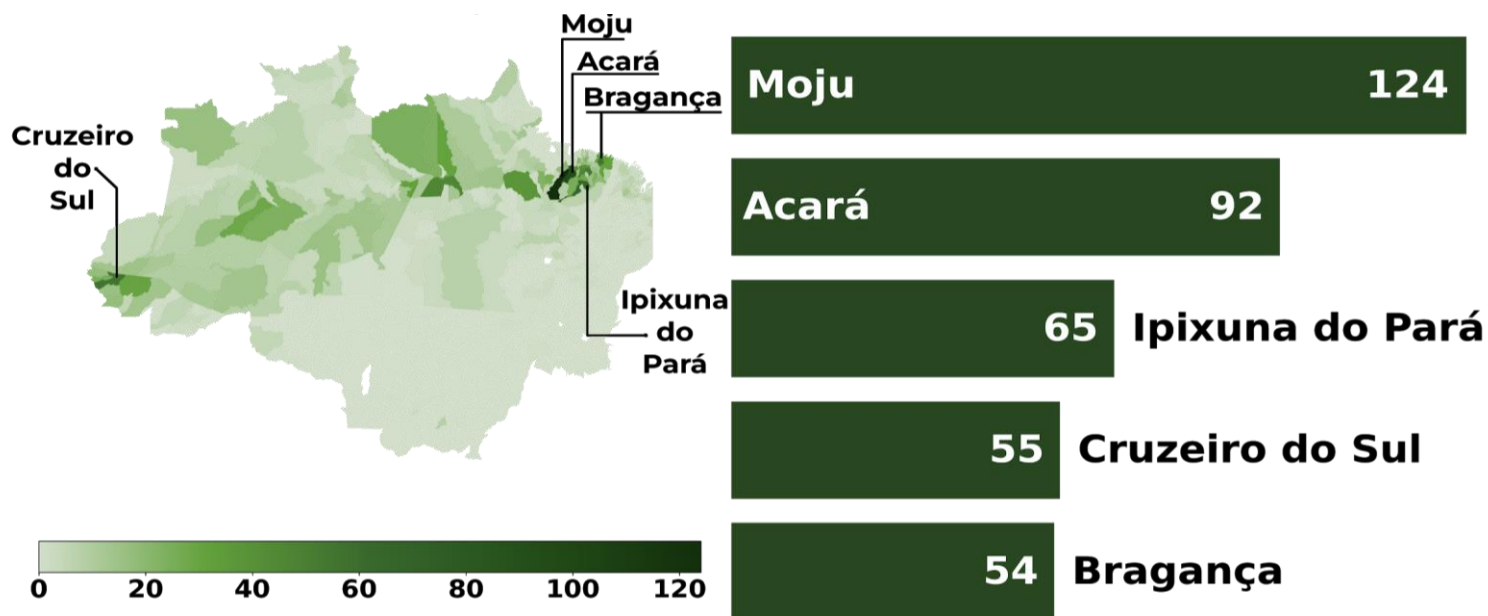


Figura 13 - Potencial de produção de biogás dos resíduos da produção de farinha de mandioca a nível municipal da região amazônica (Mil Nm³/ano)

O Quadro 9 apresenta o ranking dos dez municípios com maior potencial de produção de biogás a partir da mandioca na região amazônica. O município de Moju, no estado do Pará, detém o maior potencial de produção de biogás de toda região amazônica, com capacidade de produzir 123,9 mil Nm³/ano de biogás, que, se destinado à geração de energia elétrica, supriria a demanda de 128 residências por ano na cidade.

Quadro 9 - Ranking dos dez municípios com maior potencial de produção de biogás a partir de efluente do processamento de mandioca

ID	UF	Município	Unidades produtoras de farinha (un.)	Potencial de Biogás (Nm ³ /ano)	Biometano (Nm ³ ano ⁻¹)	Volume de biogás equivale a:			
						Diesel (Litros)	Energia Elétrica (kWh)	Residências ¹⁹ (unidades)	GLP (botijões de 13kg)
1	PA	Moju	3.982	123.979	74.387	64.717	257.319	128	3.777
2	PA	Acará	3.881	92.497	55.498	48.283	191.977	96	2.818
3	PA	Ipixuna do Pará	1.284	64.513	38.708	33.676	133.898	67	1.965
4	AC	Cruzeiro do Sul	2.152	55.410	33.246	28.924	115.003	57	1.688
5	PA	Bragança	3.828	54.396	32.637	28.394	112.899	56	1.657
6	PA	Irituia	1.602	52.792	31.675	27.557	109.570	55	1.608
7	PA	São Domingos do Capim	2.380	46.212	27.727	24.123	95.914	48	1.408
8	PA	Santarém	4.627	45.799	27.479	23.907	95.056	47	1.395
9	PA	Bujaru	2.611	42.338	25.403	22.100	87.873	44	1.290
10	PA	São Miguel do Guamá	1.685	40.387	24.232	21.082	83.825	42	1.230

¹⁹ Potencial número de residências atendidas com energia elétrica, considerando o consumo de 167 kWh/mês.

Dentre as dez cidades destacadas no ranking (Quadro 9), nove estão localizadas no estado do Pará, na região nordeste paraense; no vale do Juruá; no baixo Amazonas; e na Região Metropolitana de Belém. Juntas, totalizam cerca de 25,8 mil casas de farinha, com potencial de 562,9 mil Nm³/ano de biogás. A cidade de Cruzeiro do Sul, pertencente à região de Vale do Juruá, no Acre, ocupa a quarta colocação no ranking de potencial da região amazônica, possuindo uma capacidade de produção de 55,4 mil Nm³/ano de biogás, distribuídos em 2,1 mil casas de farinha.

No total, as dez cidades do ranking de potencial têm a capacidade de gerar, por ano, 618,3 mil Nm³/ano de biogás, correspondendo a 22% de todo o potencial da região amazônica para esse substrato.

As unidades produtoras de farinha são caracterizadas predominantemente por unidades de agroindústria rural, de cunho familiar e de micro e pequeno porte, muitas vezes sem nenhum tipo de mecanização, ou semimecanizadas. O impacto social das casas de farinha é de extrema importância para toda a região.

Como a escala de produção dessas unidades é pequena, a geração de resíduos e efluentes também é reduzida, tornando a aplicação do processo de biodigestão mais limitada. Uma alternativa frente a esse cenário seria o uso de biodigestores de escala doméstica, que podem produzir gás de qualidade, destinado ao uso térmico na própria casa de farinha ou na comunidade local.

A codigestão da manipueira com outros resíduos disponíveis, como dejetos da criação de animais ou provenientes de outros processamentos industriais, comumente encontrada em cooperativas, pode favorecer a ampliação da escala da unidade produtora de biogás, viabilizando projetos voltados ao aproveitamento energético na forma de energia elétrica.

Adicionalmente, uma alternativa para o efluente das casas de farinha é destiná-lo a centrais de bioenergia²⁰, arranjo que permite uma maior concentração no volume de efluentes e, conseqüentemente, maior produção de biogás. Esse modelo pode contribuir na viabilização de projetos de geração de energia elétrica, proporcionando melhoria da qualidade da energia local a partir de geração distribuída.

Além dos benefícios supracitados, o uso do biogás na substituição da lenha gera diversas vantagens. Dentre elas, está a redução dos gastos com a aquisição de lenha, bem como o fato de que o biogás possui uma queima mais completa e controlada, o que assegura melhor controle de temperatura nos fornos e promove uma secagem e torragem mais uniforme para a farinha – o que é diretamente refletido na qualidade do produto. E, por fim, deve-se ressaltar que o biogás não produz fumaça como a lenha, o que melhora a qualidade do ambiente de trabalho na fabricação de farinha.

²⁰ Central de bioenergia: planta integrando substratos de distintos pontos de produção para a conversão da matéria orgânica em biogás e destinando-o à aplicação energética.

3.3.2. Case: Biodigestor de escala doméstica

Uma das unidades produtoras de farinha localizada em Porto Velho, Rondônia, processa cerca de 110 toneladas de mandioca por mês, produzindo mil quilos de farinha por dia. O efluente estimado para a unidade é de 33 m³/mês, o que permite uma capacidade de gerar cerca de 121 Nm³/mês de biogás. Dessa forma, **o biogás produzido poderia suprir a demanda de 277 kg de lenha ou 64 kg de GLP por mês.**

3.3.3. Case: Central de bioenergia

Supondo um modelo em que doze casas de farinha do estado do Pará, instaladas em locais próximos²¹, ao menos 100 toneladas de mandioca seriam processadas por mês, e seus efluentes (manipueira) seriam destinados para uma central de bioenergia. Esse efluente seria submetido a um processo para produção de biogás, gerando cerca de 65 Nm³/dia, volume esse que poderia ser destinado para a geração de energia elétrica (110 kWh/dia) ou energia térmica (equivalente à substituição de 149 kg de lenha por dia). Os principais benefícios advindos dessa central de bioenergia seriam a redução de custos com energia elétrica e/ou térmica, a ampliação da segurança energética e o aumento da competitividade empresarial das unidades.

²¹ O desenvolvimento de centrais de bioenergia é sujeito a estudos de viabilidade da gestão e transporte de resíduos. Uma análise de clusterização pode auxiliar na identificação de áreas favoráveis à implementação desse tipo de modelo de arranjo.

4. MECANISMOS PARA VIABILIZAR O POTENCIAL DE BIOGÁS

Explorar o potencial de produção de biogás representa uma excelente alternativa para o enfrentamento dos desafios do setor energético da região amazônica. Sua produção e seu uso acarretam efeitos benéficos e ganhos nas esferas social, econômica e ambiental.

Entre os atributos dessa fonte, pode-se mencionar: a segurança energética de pequenas, médias e grandes unidades consumidoras; a geração de energia firme; e uma fonte descentralizada, limpa e renovável, capaz de ser armazenável a baixo custo e despachável conforme a necessidade e o interesse do produtor. O biogás é uma solução que dá uma nova utilidade e fomenta o tratamento adequado de resíduos orgânicos, bem como a promoção e a estruturação de um novo mercado regional, além do aumento das oportunidades no mercado de trabalho e da geração de renda, entre outros impactos positivos.

Para realizar o aproveitamento desse potencial, é necessário analisar os desafios e as oportunidades envolvidas, uma vez que esses fatores podem impactar diretamente no uso do potencial de produção de biogás apresentado e no seu respectivo aproveitamento energético.

4.1. MECANISMOS DE APOIO PARA O DESENVOLVIMENTO DO BIOGÁS

- **Popularização do biogás na Amazônia**

A disseminação de conhecimento sobre o biogás como fonte de energia (informações técnicas, comerciais e legais) é uma ação-chave para o desenvolvimento do setor na região amazônica, pois, além da aceitação social e da sensibilização ambiental quanto à destinação, ao tratamento adequado de resíduos e à obtenção de um ativo energético, a difusão de conhecimento permite reduzir as assimetrias de dados e de informações, contribui com a criação das redes de agentes e de atores interessados na temática e subsidia os tomadores de decisão.

Esses dados e informações sobre o setor devem ser disponibilizados de forma acessível e organizada.

Complementarmente, é necessário capacitar, qualificar e fortalecer os atores locais, aumentando a mão de obra especializada disponível na região para a multiplicação de conhecimentos, o desenvolvimento de estudos, a implantação de plantas, a replicação de modelos e a manutenção e operação de unidades. É importante ressaltar que, nessas ações, a estrutura de ensino básico e profissional pode ser aproveitada e adaptada para a inclusão das energias do biogás na educação básica e formal da região.

Portanto, a popularização do biogás e o aumento da mão de obra qualificada irão impulsionar o desenvolvimento de projetos e a implementação de unidades de produção e de aproveitamento energético da região.

- **Proposição e implementação de políticas**

Ao longo dos últimos anos, o setor de biogás vem se destacando no Brasil. A promoção de discussões buscando solucionar barreiras técnicas, políticas, mercadológicas e sociais da cadeia produtiva da fonte tem ganhado espaço, resultando em alguns avanços.

Contudo, ainda há a necessidade da criação e alteração de políticas públicas e privadas e, ainda, de regulamentações que considerem as especificidades da produção e do uso energético do biogás. Essa ação permitirá a criação de um ambiente favorável para o desenvolvimento, o crescimento e a consolidação da fonte na região amazônica e em todo o Brasil. Além disso, tais políticas são fundamentais para incentivar investimentos e para subsidiar órgãos e instituições na implementação de programas para a execução dessas políticas e a disseminação de novos projetos.

Nesse sentido, é necessário analisar a realidade econômica, social e tecnológica, bem como o potencial de produção de biogás em relação à localização e aos substratos disponíveis para a elaboração de tais políticas de incentivo ao

biogás. Ademais, se faz necessário políticas voltadas à elaboração de instrumentos regulatórios e de mecanismos de incentivo, como as listadas a seguir:

- **Linhas de crédito:** são fundamentais por possibilitarem o investimento e a viabilidade de novos projetos. Nesse cenário, é necessário ampliar o acesso ao crédito, considerando as particularidades do biogás e colaborando, assim, com o fomento à produção de energia renovável.
- **Implementação de incentivos fiscais:** criação de incentivos que reduzam impostos e criem créditos fiscais, tanto para as unidades de produção do biogás quanto para as unidades consumidoras. Outra forma recomendada está relacionada ao apoio com recursos classificados como fundo perdido, bem como projetos de pesquisa e de demonstração tecnológica.
- **Regulamentações:** apesar de existir um arcabouço legal específico para o biogás, ele ainda requer muitos aprimoramentos, visto que as normativas atuais não consideram a complexidade e as especificidades do biogás em relação aos substratos utilizados, às tecnologias, ao porte das unidades, às aplicações energéticas, à sinergia com os vários benefícios dessa fonte, ao tratamento de resíduos e à integração com as outras fontes energéticas.
- **Fomento ao uso de recursos dos Fundos Setoriais para o desenvolvimento de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (P&D) em biogás:** contribui para a validação de projetos estruturantes e fornece dados e informações aos agentes do setor para a tomada de decisão sobre a replicação ou o investimento de novos projetos, contribuindo, ainda, com a consolidação da cadeia de fornecimento local e regional.
- **Ações para a intercooperação**

O desenvolvimento de ações de intercooperação pode ser chave no destravamento da produção e do uso energético do biogás na região amazônica. Essas ações visam o envolvimento dos setores público e privado, além das instituições de pesquisa, para que possam desenvolver projetos de biogás de forma integrada, com foco na geração de energia para o atendimento de demandas específicas ou coletivas.

Essa intercooperação permite a estruturação de projetos de maior escala, contribuindo com o acesso a insumos para a produção do biogás e a ampliação da capacidade financeira para a efetivação dos investimentos na planta.

- **Consórcios intermunicipais**

Os consórcios intermunicipais de saneamento são uma alternativa jurídica criada para possibilitar o gerenciamento e o tratamento conjunto de resíduos de diferentes municípios.

Esse arranjo permite que municípios com menos recursos instalem unidades para dispor seus resíduos adequadamente, uma vez que os custos de implantação, operação e manutenção são compartilhados pelos integrantes do consórcio. Nesse sentido, a formação de consórcios também favorece o aproveitamento de biogás, visto que, além de possibilitar a divisão de custos, um volume maior de resíduos é concentrado em apenas uma unidade, o que viabiliza arranjos tecnológicos e aplicações energéticas mais robustas.

- **Consolidação de Unidades de Referência Tecnológica (URTs)**

Projetos pilotos são instrumentos importantes para a comprovação tecnológica e a consolidação de novos empreendimentos. Por meio dessas unidades, é permitida a validação de conceitos, demonstração, transferência e adaptação das tecnologias, além de possibilitar a implementação de estratégias que

considerem as particularidades do substrato e as características específicas de cada território.

Essas URTs, consideradas laboratórios a céu aberto, permitem a disseminação de conhecimento sobre a comprovação da produção e do uso energético da fonte às partes interessadas no desenvolvimento da cadeia do biogás na região amazônica.

- **Desenvolvimento da cadeia de fornecedores**

Para o desenvolvimento do biogás como um ativo energético de interesse na região amazônica sob o ponto de vista mercadológico, é essencial identificar a sua cadeia de fornecedores, como: oferta de equipamentos, disponibilidade de mão de obra qualificada e capacitação de recursos humanos.

No Brasil, nem todos os equipamentos são específicos para o biogás. Sendo assim, investir no desenvolvimento e no aperfeiçoamento de tecnologias fundamentadas, que atendam às particularidades e às necessidades da cadeia, é de extrema importância, pois contribui para o sucesso e a continuidade de projetos e, conseqüentemente, melhora a aceitação e a confiança por parte dos investidores e de todos os atores envolvidos.

As deficiências e os desafios dessa cadeia representam oportunidades para diversos segmentos expandirem ou agregarem novas empresas na região.

A elevada disponibilidade e a necessidade de tratar adequadamente os resíduos evidenciam a demanda por soluções que permitam a recuperação energética desses substratos. Entretanto, para que a cadeia de fornecedores de biogás penetre e se desenvolva na região amazônica, são necessárias ações em ambos os lados: demanda e oferta. Pelo lado da demanda, é necessário que os geradores de resíduos dessa região encarem a disponibilidade de biomassa como uma oportunidade para a geração de um ativo energético limpo. Pela perspectiva da oferta, é necessário compreender que o desenvolvimento da cadeia de fornecedores é o resultado das propostas supracitadas, principalmente de

“Proposição e implementação de políticas” e “Ações de intercooperação”, visto que são necessárias ações conjuntas para que o mercado ofereça soluções adaptadas para cada região.

4.2. OPORTUNIDADES DE ARRANJOS TECNOLÓGICOS

O biogás é uma fonte versátil de energia, que pode receber diferentes aplicações, em vários setores produtivos e escalas. A Figura 14 demonstra diferentes destinos para o biogás produzido a partir dos três tipos de resíduos analisados neste estudo. Dessa forma, gera-se energia (elétrica e térmica), biometano (que pode ser utilizado como combustível) e digestato (que pode ser aplicado como fertilizante ou como condicionador de solo e possui um elevado valor agregado no processo).

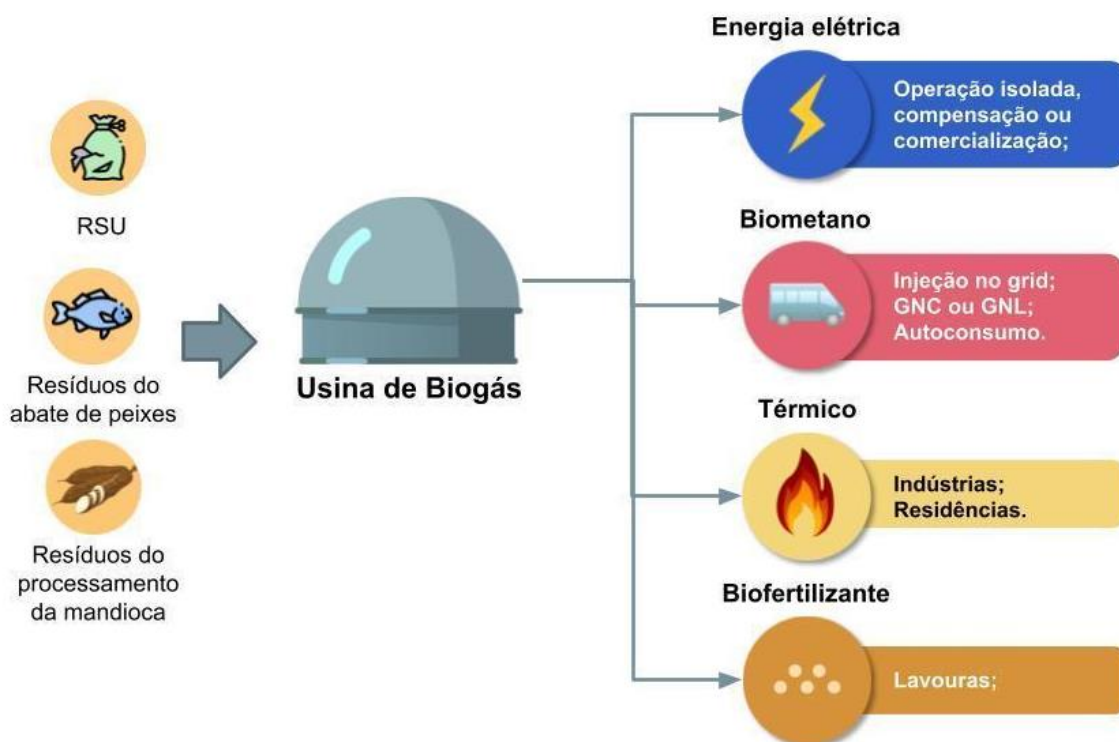


Figura 14 - Produtos gerados a partir da produção de biogás

Fonte: Elaboração própria

No processo de transformação de resíduos em energia, a Unidade Produtora de Biogás pode seguir a estruturação em dois formatos: **A) Arranjos Coletivos** ou **B) Arranjos Individuais**, conforme apresentado na Figura 15.

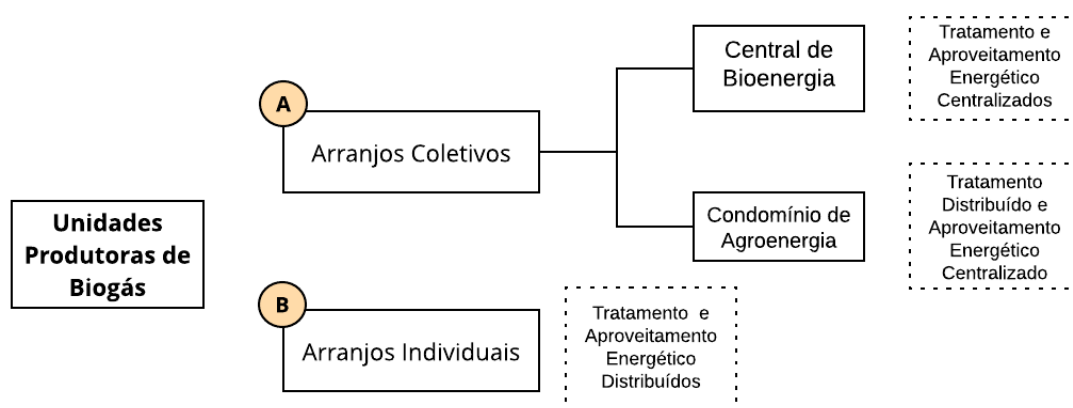


Figura 15 - Tipos de arranjos para o aproveitamento energético do biogás

Fonte: Elaboração própria

Para a definição do melhor arranjo e do aproveitamento energético do biogás, é necessário considerar questões tecnológicas e de logística, bem como características do substrato e territoriais da região, entre outros fatores políticos, regulatórios e técnicos. Entretanto, levando em conta a atual conjuntura do tratamento dos resíduos apresentados, serão indicados alguns arranjos.

- A. **Centrais de Bioenergia:** responsáveis por centralizar o recebimento de resíduos oriundos de diferentes locais, nos quais se realizará o tratamento em sistemas de biodigestão para a produção de biogás e digestato, seguida de suas respectivas aplicações. A Figura 16 exemplifica esse tipo de arranjo.

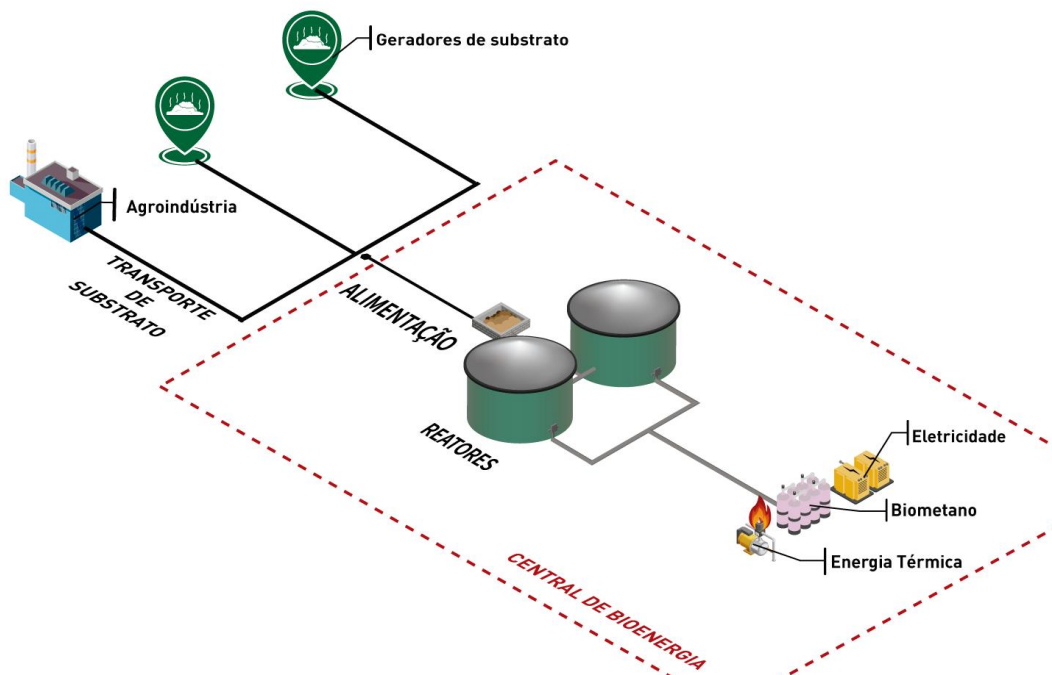


Figura 16 - Exemplificação de uma Central de Bioenergia

Fonte: Elaboração própria

Exemplo 1: Central de Tratamento de resíduos sólidos urbanos construída para tratar os resíduos de diferentes municípios. Nessa modalidade, é possível a exploração de consórcios intermunicipais para o tratamento de resíduos de municípios próximos.

Exemplo 2: Central de tratamento de resíduos da produção de farinha de mandioca, construída para integrar micro e pequenas farinheiras de uma mesma comunidade. Dentre as alternativas existentes, deve-se destacar as casas de farinha higiênicas²² que são disseminadas na região amazônica e podem se tornar centrais. Essas unidades operam de forma compartilhada entre vários produtores, concentrando

²² Casas de farinha higiênicas são construídas levando em consideração aspectos ambientais, sanitários e econômicos. O arranjo produtivo não se diferencia do tradicional, porém a instalação é construída buscando melhorar a qualidade da farinha produzida em um ambiente de trabalho mais bem higienizado (IDAM, 2009).

os efluentes gerados, permitindo assim, a instalação de sistemas de biodigestão para o tratamento de efluentes, produção de biogás e aplicação energética.

B. **Arranjos individuais:** tratamento da biomassa, produção e consumo energético do biogás de forma individual.

Exemplo 1: Frigorífico de peixe que aproveita individualmente os resíduos de sua unidade para a produção de biogás e geração de energia para uso na própria unidade, reduzindo custos com energia e realizando a gestão inteligente dos resíduos.

Exemplo 2: Aterros sanitários e/ou controlados com sistema de drenagem de gases, operando de forma individual no aproveitamento energético do biogás.

A seguir, serão demonstradas as oportunidades energéticas identificadas a partir dos potenciais apresentados neste estudo para os RSU, resíduos originados do abate de peixes em frigoríficos e efluentes gerados a partir do processamento da mandioca.

4.2.1. Geração de Energia Elétrica

Com relação à atratividade e à inserção do biogás para a geração de energia elétrica, é necessário conhecer as opções – a nível regulatório – disponíveis para a utilização própria e a compensação, bem como as aplicações interessantes para os substratos e as unidades analisadas. A Figura 17 apresenta as possibilidades no cenário nacional para a geração de energia elétrica a partir do biogás.

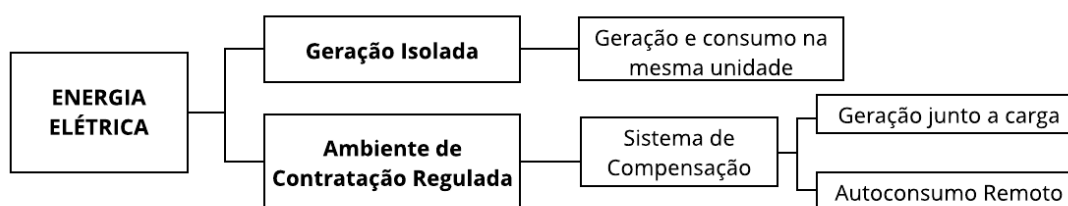


Figura 17 - Alternativas para a geração de eletricidade utilizando o biogás

No Brasil, é possível realizar a **geração isolada** (*off-grid*), na qual ocorre a geração e o consumo da energia na mesma unidade produtora, sem o uso da rede de distribuição. Além disso, existe o mercado de energia elétrica, que é composto por dois mecanismos de contratação, regulamentados por meio do [Decreto nº 5.163/2004](#), sendo: o **Ambiente de Contratação Regulada (ACR)** e o **Ambiente de Contratação Livre (ACL)**.

O **Sistema de Compensação**, inserido dentro do **ACR**, é estabelecido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) por meio da [Resolução Normativa nº 482/ 2012](#) (essa resolução passou por atualizações em 2015 e em 2017, por meio da [REN 687/2015](#) e [786/2017](#)), não permitindo a comercialização de energia elétrica. No entanto, pode-se injetar o excedente de eletricidade na rede de distribuição em troca de créditos para compensações futuras (em até 60 meses). Dependendo da modalidade a ser adotada pelo projeto, essa compensação pode ser realizada em unidades consumidoras de mesma titularidade ou de diferentes titularidades.

Para os estabelecimentos estudados neste relatório, as alternativas mais atrativas são: geração isolada, geração junto à carga e autoconsumo remoto.

Na **geração isolada**, há a geração e o consumo de energia na mesma unidade. O mesmo acontece na **geração junto à carga**, porém, nessa alternativa, a unidade está conectada à rede de distribuição da concessionária e, portanto, a energia produzida é convertida em créditos para o posterior abatimento na tarifa. Ambas as soluções são interessantes para frigoríficos de peixes, uma vez que essas unidades possuem alta demanda de energia elétrica para manter os seus sistemas de refrigeração em pleno funcionamento.

Outra solução aplicável para os substratos aqui analisados é o **autoconsumo remoto**, no qual um aterro sanitário de uma prefeitura, por exemplo, poderia gerar eletricidade para uma posterior injeção na rede de distribuição. Dessa forma, esse aterro acumularia créditos de energia que poderiam ser utilizados para o abatimento do consumo de energia em prédios públicos.

Adicionalmente, deve-se destacar que o biogás pode ser armazenado com baixos custos e despachado em momentos de maior interesse ou demanda por parte do produtor, tornando-o uma fonte que contribui substancialmente com a segurança energética em situações de interrupções no fornecimento de energia pela concessionária. Assim, perdas de plantel (agropecuária) e produtos (agroindústrias), entre outros, são mitigados.

4.2.2. Produção de Biometano

O biometano é um biocombustível rico em metano (90%) que pode ser obtido a partir do processo de purificação do biogás. Aplicações energéticas que envolvem o biometano devem estar de acordo com as resoluções e as orientações normativas da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), que é o órgão responsável por regulamentar e fiscalizar a produção, a comercialização, a movimentação e o uso de biocombustíveis.

Apesar de, atualmente, existirem poucas plantas de biometano no Brasil, as projeções de mercado para esse biocombustível são otimistas. O primeiro aspecto que aponta para um cenário positivo é a fundamentação da Política Nacional de Biocombustíveis (também conhecida como Renovabio), que busca incentivar a produção de todos os biocombustíveis nacionais, sendo o seu principal instrumento o Crédito de Descarboxinação (CBIO) – um ativo negociável em bolsa de valores. Cada CBIO é equivalente a uma tonelada de dióxido de carbono equivalente evitada, o qual, além de ativo financeiro, pode ser utilizado no cumprimento de metas de descarbonização compulsórias ou voluntárias. Os CBIOs podem ser uma fonte de receita adicional para os produtores de biocombustível, garantindo, inclusive, a viabilização de novas unidades.

Assim, o biometano pode ser um diferencial competitivo para todas as regiões do Brasil, principalmente para aquelas unidades de grande porte – como os aterros sanitários, exatamente em um momento em que o país busca alternativas para descarbonizar ainda mais a sua matriz energética.

A Figura 18 apresenta um fluxograma dos produtos gerados durante a purificação do biogás e ilustra as suas respectivas aplicações.

| Possibilidades com Biometano

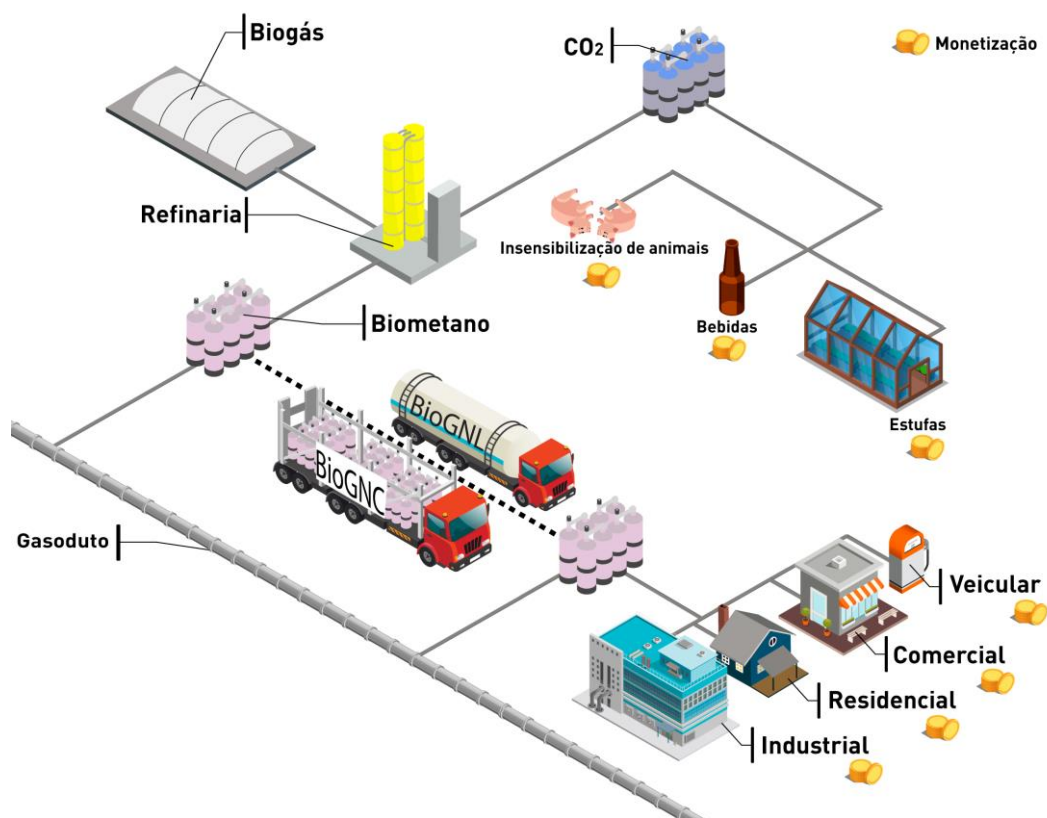


Figura 18 - Fluxograma da produção e da utilização do biometano

Fonte: Elaboração própria

O biometano pode ser transportado por dois modais de distribuição: dutoviário e rodoviário. No modal dutoviário, o biometano pode ser injetado na rede de distribuição de gás natural – já que é equivalente ao combustível fóssil. Destaca-se que as concessionárias de gás detêm o monopólio sobre a distribuição desse combustível, utilizando gasodutos. Outra forma de distribuição é pelas rodovias, um método que também é conhecido como gasoduto virtual. Nesse modal, o gás pode ser distribuído na forma de gás comprimido (BioGNC) ou, então, liquefeito (BioGNL). Salienta-se que, quando liquefeito, o biometano pode ser

transportado para distâncias maiores, até 1000 km, quando comparado com o BioGNC, que pode ser transportado apenas até 200 km.

Após ser transportado, o biometano pode servir como combustível veicular, residencial, industrial e comercial. Ressalta-se que esse biocombustível é uma ótima alternativa ao diesel utilizado em veículos pesados, tanto por meio da conversão de motores quanto pela adoção de motores dedicados a gás.

Outro gás disponível após a purificação do biogás é o dióxido de carbono (CO₂), que pode ser usado em frigoríficos (para a insensibilização de animais), em estufas ou, ainda, na indústria de alimentos e bebidas. A utilização do CO₂ pode ser uma fonte de receita fundamental para viabilizar projetos; porém, ela ainda carece de uma regulamentação específica para usos mais nobres, como é o caso da indústria de alimentos e bebidas.

A primeira alternativa para a geração de receitas a partir do biometano é a injeção na rede de distribuição das concessionárias de gás natural, podendo atender todos os tipos de consumidores já citados anteriormente. Além da simples injeção no *grid*, destaca-se, ainda, que há a possibilidade de o BioGNC ou de o BioGNL ser utilizado para abastecer redes locais de distribuição, contribuindo para a oferta de gás em projetos estruturantes de gás natural.

Outro método pode ser a venda de biometano a granel, nas formas de BioGNC ou de BioGNL, para atender consumidores que demandam gás, mas não são atendidos pela rede de distribuição. Além disso, é possível evitar custos com a utilização desse biocombustível na frota cativa de empresas, na qual o biometano pode substituir a utilização de diesel.

Destaca-se que, na maioria das vezes, a produção de biometano requisita unidades com um maior potencial de produção de biogás para a viabilização financeira. Dessa forma, a produção de biometano poderia ser viabilizada principalmente por dois métodos:

- **Exemplo considerando o autoconsumo:** a monetização ocorreria por meio dos custos evitados com diesel, um modelo que consiste na conversão da frota pública de caminhões responsáveis por realizar a coleta dos RSU ou, ainda, na conversão de caminhões que realizam a despesca de peixe para as unidades frigoríficas.
- **Exemplo considerando a venda a granel:** a venda de biometano requer unidades com um elevado volume de produção, para garantir a disponibilidade do biocombustível – por esse motivo, esse modelo se adequa, em especial, aos aterros sanitários. A partir dessa alternativa, é possível realizar a venda de biometano (via gasoduto virtual) para o atendimento de clientes específicos com uma alta demanda – clientes esses que comumente são do ramo industrial, comercial ou veicular.

Ressalta-se que a injeção de biometano na rede de distribuição de gás natural não foi destacada aqui como uma oportunidade factível para os estados avaliados, pois apenas a capital do estado do Amazonas possui essa infraestrutura instalada atualmente.

4.2.3. Geração de energia térmica

Em média, o biogás é majoritariamente composto por metano (60%), componente que possui alto poder calorífico e favorece o uso do biogás nas mais diversas aplicações nos âmbitos rural, residencial e industrial. O aproveitamento do biogás na forma de energia térmica tem sido amplamente difundido, principalmente pela simplicidade de sua aplicação.

Unidades produtoras de biogás em escala doméstica, por exemplo, podem fazer o uso desse ativo energético para consumo residencial no aquecimento de água, na cocção de alimentos e no conforto térmico de ambientes.

Além disso, o biogás gerado em unidades rurais pode ser utilizado na forma de **energia térmica para secagem de grãos, insumos e aquecimento de instalações de criação animal.**

O biogás produzido em larga escala, como em unidades industriais, também pode ser aproveitado para uso térmico, podendo ser utilizado em diversas etapas dos processos produtivos.

No processamento de mandioca para obtenção de farinha, o uso térmico do biogás pode viabilizar sua geração em micro e pequenas empresas, que caracterizam grande parcela de todo o setor da região amazônica. **O biogás produzido nessas unidades poderia ser utilizado para substituir lenha e GLP na etapa de secagem e torragem de farinha,** reduzindo gastos com aquisição de combustíveis, bem como melhorando a qualidade do ambiente de trabalho – já que a queima do biogás não gera fumaça como a lenha, que pode causar problemas respiratórios aos trabalhadores.

Além disso, por ser renovável, o uso do biogás em substituição de combustíveis fósseis na geração de energia térmica proporciona grande benefício ambiental, reduzindo a pegada de carbono dos mais variados processos e produtos.

4.3. DESAFIOS E OPORTUNIDADES DE CADA SUBSTRATO

A seguir, serão apresentados os principais desafios e oportunidades para o aproveitamento efetivo dos RSU, resíduos do abate de peixes em frigoríficos e resíduos do processamento de mandioca como substratos para produção de biogás.

4.3.1. Resíduos Sólidos Urbanos - RSU

Em unidades de tratamento de RSU, a disponibilidade de substrato com elevado teor de matéria orgânica possibilita a criação de plantas de grande porte para a produção de biogás, o qual pode ser utilizado para geração de energia elétrica, térmica ou de biometano. **A geração de eletricidade é uma ótima**

alternativa para 2021, pois haverá oportunidade de comercializar a energia em ambiente de contratação regulado, por meio do Leilão de Energia Nova da ANEEL, que, pela primeira vez, incluiu em seu escopo a recuperação energética de RSU.

Além dessa oportunidade pontual, o Brasil dispõe de recursos legais que favorecem a recuperação energética de RSU como o RenovaBio, o Novo Marco Legal do Saneamento e a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

O RenovaBio fortalece a purificação do biogás para receber aplicações análogas às do Gás Natural por meio do biometano. Entretanto, a baixa estrutura para transporte e distribuição do biometano limita os modelos de negócio desse biocombustível, visto que, dentre os estados analisados, apenas o Amazonas possui gasodutos. Desse modo, a maior parte dos negócios teriam de ser realizados por meio de gasodutos virtuais (caminhões ou barcos).

A PNRS e o novo Marco Legal do Saneamento exigem a adequação dos locais de tratamento de RSU – unidades essas que apresentam altos custos de instalação, operação e manutenção para os municípios. Nesse sentido, o biogás pode ser uma alternativa fundamental para maximizar as receitas e viabilizar a instalação e adequação dessas unidades.

Uma das estratégias para minimizar os impactos financeiros da instalação e operação de centrais de tratamento de RSU com aproveitamento de biogás é a formação de consórcios intermunicipais (arranjos coletivos). Entretanto, de modo geral, as sedes municipais na Amazônia Legal são muito distantes, o que inviabiliza esse tipo de alternativa. Dessa forma, faz-se necessário um estudo detalhado para a identificação de possíveis *clusters* na região, para orientar e contribuir nessa tomada de decisões.

4.3.2. Resíduos do abate de peixes em frigoríficos

A alta disponibilidade de resíduos orgânicos favorece a recuperação energética dos resíduos desse segmento. Esses substratos podem ser convertidos em biogás para posterior geração de eletricidade – insumo que representa um dos

principais custos do processamento industrial e é fundamental para garantir a qualidade dos produtos e a previsibilidade dos negócios nesse ramo.

Entretanto, a assimetria de informações e a escala produtiva das unidades são fragilidades que podem impactar negativamente o aproveitamento desses substratos para produção de biogás. Nesse sentido, a ausência de plantas de biogás na região é um dos principais limitadores para a difusão desse tipo de conhecimento, pois impossibilita que os tomadores de decisão identifiquem na prática os benefícios que estão atrelados à recuperação energética dos resíduos. Além disso, unidades de pequeno porte podem encontrar dificuldade na viabilidade de projetos desse tipo, requisitando a formação de arranjos coletivos.

Dessa forma, a solução inicial mais adequada para destravar o potencial de biogás a partir de resíduos do abate de peixes é a criação de URTs, que demonstrarão aos tomadores de decisão, investidores, fornecedores – e à comunidade – como o tratamento de resíduos e a produção de biogás podem se tornar uma oportunidade de energética para o segmento.

4.3.3. Efluentes do processamento da mandioca para produção de farinha

Uma das principais atividades da bioeconomia da Amazônia Legal é o processamento da mandioca, o qual produz resíduos propícios para a geração de biogás.

A produção de biogás implica em benefícios econômicos e ambientais, dado que a utilização térmica ou elétrica desse biocombustível poderia ser adotada para substituir o uso da lenha, do GLP ou da eletricidade do processo produtivo. Tal aspecto implicaria em benefícios na qualidade de vida, condições sanitárias dos operadores e segurança energética das unidades de processamento.

A manipueira é o principal resíduo desse tipo de processamento e possui arranjo tecnológico de tratamento bastante consolidado para a produção de biogás – fator que minimiza o risco do investimento e facilita a transferência de conhecimento para investidores e operadores de plantas desse segmento.

Nesse sentido, assim como sugerido no substrato anterior, é bastante oportuno propor a criação de URTs para minimizar a assimetria de informações, formar mão de obra qualificada, aumentar o número de plantas de biogás na região e permitir que os tomadores de decisão visualizem o arranjo tecnológico em operação.

Destaca-se, ainda, que a criação de URTs é uma estratégia essencial para fundamentar esse mercado, visto que a dificuldade de acesso a informações de qualidade sobre a recuperação energética desses resíduos potencializa a falta de interesse em investir no setor de biogás.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção e o uso energético do biogás promovem uma maior sustentabilidade para os estabelecimentos, no que diz respeito às questões econômicas, sociais e ambientais. O biogás possibilita agregar valor aos resíduos originados das atividades já praticadas na região em questão, transformando o potencial passivo ambiental em um ativo econômico e energético, o que adiciona valor à atividade produtiva.

Os desafios e as oportunidades apresentadas neste estudo vão ao encontro das necessidades de diversificação energética da Amazônia Legal e do atendimento às questões ambientais para uma destinação adequada de resíduos no local.

Ainda que a região tenha um potencial pouco explorado e com algumas limitações, o biogás pode contribuir para a promoção do desenvolvimento sustentável regional, realizando o manejo adequado dos resíduos e gerando energia, além de promover a formação descentralizada de unidades de pequeno, médio ou grande porte – o que viabiliza a criação de novos empregos, renda e vantagens para diversos setores produtivos, além de fortalecer a bioeconomia da região.

Tais ações irão fomentar o desenvolvimento sólido da cadeia produtiva de insumos, materiais, equipamentos e serviços, o que permitirá na região:

- A destinação adequada e valorização dos resíduos;
- O aumento da competitividade;
- A melhoria na qualidade de produtos e de serviços;
- A formação de mão de obra qualificada e geração de empregos;
- O fortalecimento e expansão dos setores produtivos;
- O aumento da participação de uma fonte energética renovável, descentralizada, despachável, armazenável e sustentável;
- Segurança e estabilidade energética para os usuários.

As informações apresentadas neste estudo servem como base para fundamentar novas estratégias e ações para o desenvolvimento da produção e uso energético do biogás. Diante disso, pode-se dizer que os maiores desafios para o aproveitamento energético do biogás estão ligados às ações governamentais, privadas, de pesquisa e desenvolvimento, para que as questões nos âmbitos político, cultural, ambiental, social, econômico, técnico e tecnológico possam contribuir com o destravamento e a consolidação do biogás na região amazônica.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos pelos esforços investidos em conjunto com o Instituto Escolhas para alcançar os resultados do presente estudo. Além disso, agradecemos pela colaboração da Secretaria de Produção Rural do Amazonas (SEPA), do Instituto de Extensão, Assistência e Desenvolvimento Rural do Amapá (RURAP), da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico de Mato Grosso (SEDEC-MT), da Inspeção de Produtos de Origem Animal (INDEA-MT), do Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal de Tocantins (DIPOA/SDA) e da Embrapa Acre no fornecimento de dados e de informações.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE - Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2019. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>.

ANEEL, resolução nº 482 de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>>

ANEEL, resolução nº 687 de 24 de novembro de 2015, Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>

ANEEL, resolução nº 786 de 17 de outubro de 2017. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2017786.pdf>>

BRASIL, Decreto nº 5.163 de 30 de Julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM>.

BRASIL, Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>

BRASIL, Lei nº 13.576 de 26 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm>

BRASIL, Lei nº 14.026 de julho de 2020. Novo Marco Legal do Saneamento Básico. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm>

CIGAS - Companhia de Gás do Amazonas. **Relatório Administrativo 2019**. Amazonas, 2019. Disponível em: <https://ca0b7bfe-9705-4a2d-9d03-84e9975055e8.filesusr.com/ugd/9da855_31bb7a8ddb5a49b190c760542fc6fab6.pdf>.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Análise Mensal - Mandioca Fevereiro de 2020**, 6p., 2020. Disponível em <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca/item/download/31054_7353a3a223023f519813432dd4ef8c25>

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Produção Brasileira de Mandioca em 2019**. 5p., 2020. Disponível em: <http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/mandioca/b1_mandioca.pdf>.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Energia - PDE (2019-2029)**. Brasília: MME/EPE, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202029.pdf>>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasil - **Dados População**. Brasil, 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao.html>>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da aquicultura, por tipo de produto - Tabela 3940**. Brasil, 2020. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940>>

IDAM - Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas. **Casa de farinha higiênica para agricultores familiares**. Brasil, 2009. Disponível em: <<http://www.idam.am.gov.br/casa-de-farinha-higienica-para-agricultores-familiares/#:~:text=O%20Idam%20vem%20conscientizando%20os,higieniza%C3%A7%C3%A3o%20do%20ambiente%20de%20trabalho>>.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento. **Diagnóstico do Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos, 2018**. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>.

SEDAM/RO - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental de Rondônia. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos - PERS de Rondônia**. 2020. Disponível em: <<http://www.sedam.ro.gov.br/plano-estadual-de-residuos-solidos-pers/>>.

**Anexo I – Proposição de macro áreas para disposição de resíduos no estado
de Rondônia**

Quadro 2.8 – Proposição das macroáreas para disposição de resíduos sólidos considerando os arranjos intermunicipais e as soluções individuais

Região – Mun. Polo	Municípios	Distância (km)		Coordenadas Cidade²		Coordenadas Macroárea 1		Coordenadas Macroárea 2	
		Macroárea 1	Macroárea 2	Longitude (X)	Longitude (X)	Latitude (Y)	Latitude (Y)	Latitude (Y)	Latitude (Y)
PORTO VELHO	Porto Velho	11		403007	9030284	368898	9021447		
	Candeias do Jamari	34		423298	9027300				
	Guajará-Mirim	44	29	245609	8808061	240776	8843388	246541	8631165
GUAJARÁ-MIRIM	Nova Mamoré	8	20	244843	8848248				
	Machadinho D'Oeste	49	23	610536	8857843	592307	8929391	591591	8952779
MACHADINHO D'OESTE	Vale do Anari	25	64	590486	8910234				
	Alta Floresta D'Oeste	5	8	609638	8681078				
	Alto Alegre dos Parecis	43	36	624409	8658521				
	Santa Luzia D'Oeste	26	19	632889	8683497	611751	8683559	616827	8680408
	Parecis	88	81	651957	8653094				
	São Felipe D'Oeste	56	48	661912	8682733				
SÃO MIGUEL DO GUAPORE	São Miguel do Guaporé	5	20	530713	8708876	529246	8704303	514890	8699286
	Nova Brasilândia D'Oeste	50	67	575022	8703642				
	Seringueiras	37	25	495978	8690056				
CEREJEIRAS	Cerejeiras	6	21	736206	8540930				
	Colorado do Oeste	35	20	766166	8548192				
	Conumbiara	42	57	722780	8562126	741203	8541988	755123	8540718
	Calixvi	64	49	766011	8506813				
	Pimenteiras do Oeste	59	73	711342	8508644				
São Francisco do Guaporé¹		8	438054	8666744	437490	8672952	432377	8667370	
Costa Marques¹		22	366670	8624720	362208	8642870	359546	8639592	
Chupinguaia¹		7	727854	8611077	729352	8605926	725352	8605926	

Fonte: SEDAM/RO, 2020.