

GERAÇÃO DE ELETRICIDADE UTILIZANDO RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DA MADEIRA DE CONCESSÃO FLORESTAL

Estudo de viabilidade
Técnica e Econômica
para a FLONA de
Altamira



**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO
SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO**

GERAÇÃO DE ELETRICIDADE UTILIZANDO RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DA MADEIRA DE CONCESSÃO FLORESTAL

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA
PARA A FLONA DE ALTAMIRA**

*MISSÃO DO MAPA:
PROMOVER O DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL DAS CADEIAS PRODUTIVAS
AGROPECUÁRIAS, EM BENEFÍCIO
DA SOCIEDADE BRASILEIRA*

**Brasília
Mapa
2022**

2022 Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Todos os direitos reservados. Permitida a reprodução parcial ou total desde que citada a fonte e que não seja para venda ou qualquer fim comercial.

A responsabilidade pelos direitos autorais de textos e imagens desta obra são dos autores.

1ª edição. Ano 2022

Elaboração, distribuição, informações:

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Serviço Florestal Brasileiro – SFB

Diretoria de Desenvolvimento Florestal

Laboratório de Produtos Florestais - LPF

Endereço: SCEN Ibama - Ed. Sede, Brasília - DF, 70818-900

Tel.: (61) 3276-4919/4936

e-mail: lpf@florestal.gov.br

<https://lpf.florestal.gov.br>

AUTORES

Rafael Muniz

Pablo Pacheco

REVISORES

Lucélia Alves de Macedo – LPF

Bruno Sant’Anna Chaves – LPF

Luiz Gustavo Oliveira Galvão – LPF

COLABORADORES

Divino Eterno Teixeira – Coordenação – LPF

Fernando Nunes Gouveia – Coordenação – LPF

José Humberto Chaves – Coordenador Geral – CGMAF

Cristina Galvão Alves – Coordenadora Geral – CGCOF

Paulo Henrique Marostegan e Carneiro – Diretor – DCM

Fábio Rodrigo da Silveira – Consultor Nacional – NIRAS-IP Consult/DETZEL

Mariana Barbosa Vilar – Consultora Nacional – NIRAS-IP Consult/DETZEL

Tomas Inhetvin – Consultor Internacional – NIRAS-IP Consult/DETZEL

PROJETO GRÁFICO

Ana Claudia Lunguinho – Editoração e Design

Jay Brelax – Capa, Ilustrações e Infográfico

Catálogo na Fonte
Biblioteca Nacional de Agricultura – BINAGRI

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação Biblioteca Nacional de Agricultura – BINAGRI

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Geração de eletricidade utilizando resíduos do processamento da madeira de concessão florestal : estudo de viabilidade Técnica e Econômica para a FLONA de Altamira / Rafael Muniz, Pablo Pacheco. Serviço Florestal Brasileiro. – Brasília : MAPA/SFB, 2022.

Recurso: Digital

Formato: PDF

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7991-158-3

1. Gerador de Eletricidade. 2. Energia. 3. Madeira. 4. Altamira. I. Serviço Florestal Brasileiro. II. Título.

AGRIS P05

Kelly Lemos da Silva CRB1-1880





SUMÁRIO

Mensagem	06
Apresentação	07
Projeto Gestão Florestal para Produção Sustentável na Amazônia	08
Região de Estudo	8
Energia e Resíduos na Amazônia	09
Os Sistemas Elétricos Isolados	10
Geração de Resíduos na FLONA de Altamira	11
Tecnologias para Aproveitamento Energético de Resíduos	12
Energia da Biomassa	12
Parâmetros de Entrada	13
Premissas da Análise Econômica	13
Tecnologia de Pirólise	14
Tecnologia de Gaseificação	20
Tecnologia de Combustão	24
Resultados	28
Volume Mínimo de Resíduos para Viabilidade	28
Estudo de Logística para Uso de Resíduos de Serraria e Galhadas	29
Comparativo das Tecnologias	30
Rotas de Apoio e Gargalos Tecnológicos	32
Conclusões	33

Mensagem

A demanda por energia elétrica é uma necessidade crescente no nosso país. A Região Norte, com todo seu potencial energético para energias renováveis, ainda possui sua geração de energia baseada em termoeletricas alimentadas por combustíveis fósseis.

Uma importante fonte de matéria-prima renovável são os resíduos de processamento de madeiras provenientes das áreas de manejo florestal sob concessão do Serviço Florestal brasileiro (SFB). Esses resíduos são gerados a partir da exploração legal e sustentável de baixo impacto que seguem rígidas regras de controle e auditoria pelo SFB.

O Serviço Florestal Brasileiro (SFB), por meio do Laboratório de Produtos Florestais (LPF), realizou no âmbito do Projeto da Cooperação Financeira Brasil - Alemanha “Gestão Florestal para Produção Sustentável na Amazônia” (BMZ 2003 66 658) um estudo para identificar a melhor tecnologia para aproveitamento energético dos resíduos gerados na área de concessão florestal de Altamira. Essa cartilha apresenta de forma simplificada e de fácil acesso os resultados desse estudo.

Assim, esperamos que as informações presentes nessa cartilha sirvam como estímulo para que concessionários, governos locais e potenciais investidores possam utilizar essa importante fonte de matéria prima na produção de energia elétrica, promovendo a geração de renda e autonomia energética na região.

Boa leitura!

PEDRO ALVES CORRÊA NETO

Diretor-Geral do Serviço Florestal Brasileiro



Apresentação

A Amazônia, com toda sua complexidade e vastidão ambiental, tem grande disponibilidade de biomassa residual gerada na cadeia produtiva florestal. Hoje esse material é subutilizado e muitas vezes é destinado de forma incorreta, causando problemas ambientais e sanitários. Soma-se a isso a baixa oferta de energia na Amazônia, com a demanda suprida em grande parte por combustíveis fósseis.

Nesse contexto, essa cartilha tem como objetivo mostrar alternativas viáveis para melhor destinação dos resíduos provenientes de concessão florestal, realizando um aproveitamento energético da biomassa residual para promoção da sustentabilidade na gestão integrada de resíduos e energia.

O uso energético dos resíduos de biomassa florestal valoriza a cadeia produtiva como um todo, pois aumenta a oferta de energia na região, ao passo que gera oportunidades, emprego e renda locais. Como pontos positivos, mitigam-se os passivos ambientais e sanitários da destinação incorreta desses resíduos.

Projeto Gestão Florestal para Produção Sustentável na Amazônia

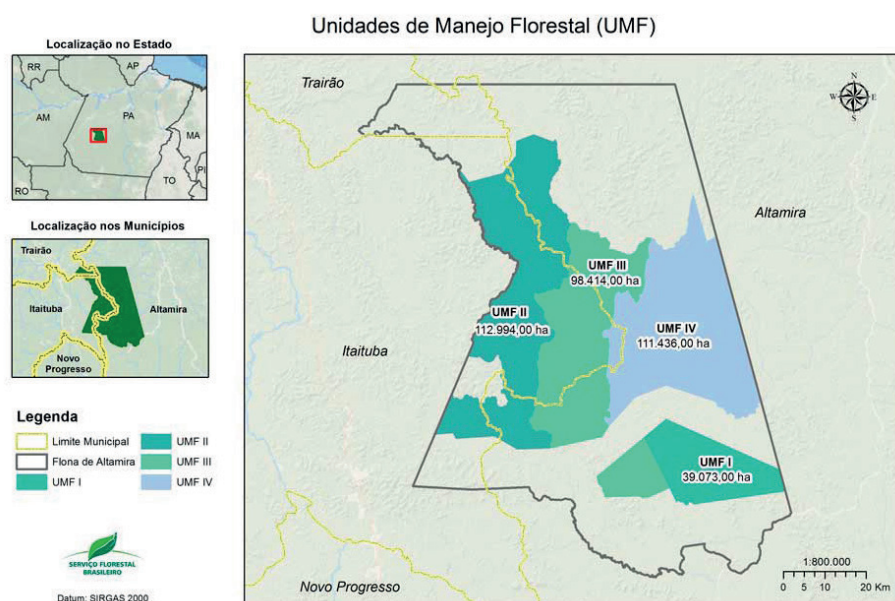
O projeto é fruto da cooperação financeira Brasil - Alemanha, resultado de um acordo firmado entre o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Ministério Federal de Cooperação Econômica e Desenvolvimento - BMZ, por meio do KfW Entwicklungsbank (Banco Alemão de Desenvolvimento), que possui como beneficiários o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e o MMA, sendo seus executores o Serviço Florestal Brasileiro (SFB) e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).

O Projeto apoia 24 Florestas Nacionais na Amazônia Legal, consistindo em ações para implementação de gestão florestal sustentável nas regiões da BR-163 e Purus-Madeira, com o objetivo de promover o desenvolvimento socioeconômico e a conservação das florestas na Amazônia Legal com base no uso sustentável dos recursos florestais.

Esta cartilha visa mostrar a viabilidade técnica e econômica de alternativas de aproveitamento de resíduos florestais de áreas sob manejo florestal sustentável para a geração de energia elétrica. Investimentos em alternativas de geração de energia elétrica local apresentam um grande potencial de redução do impacto ambiental, aumentam a rentabilidade das concessões florestais e induzem o desenvolvimento endógeno em municípios do entorno de Florestas Nacionais.

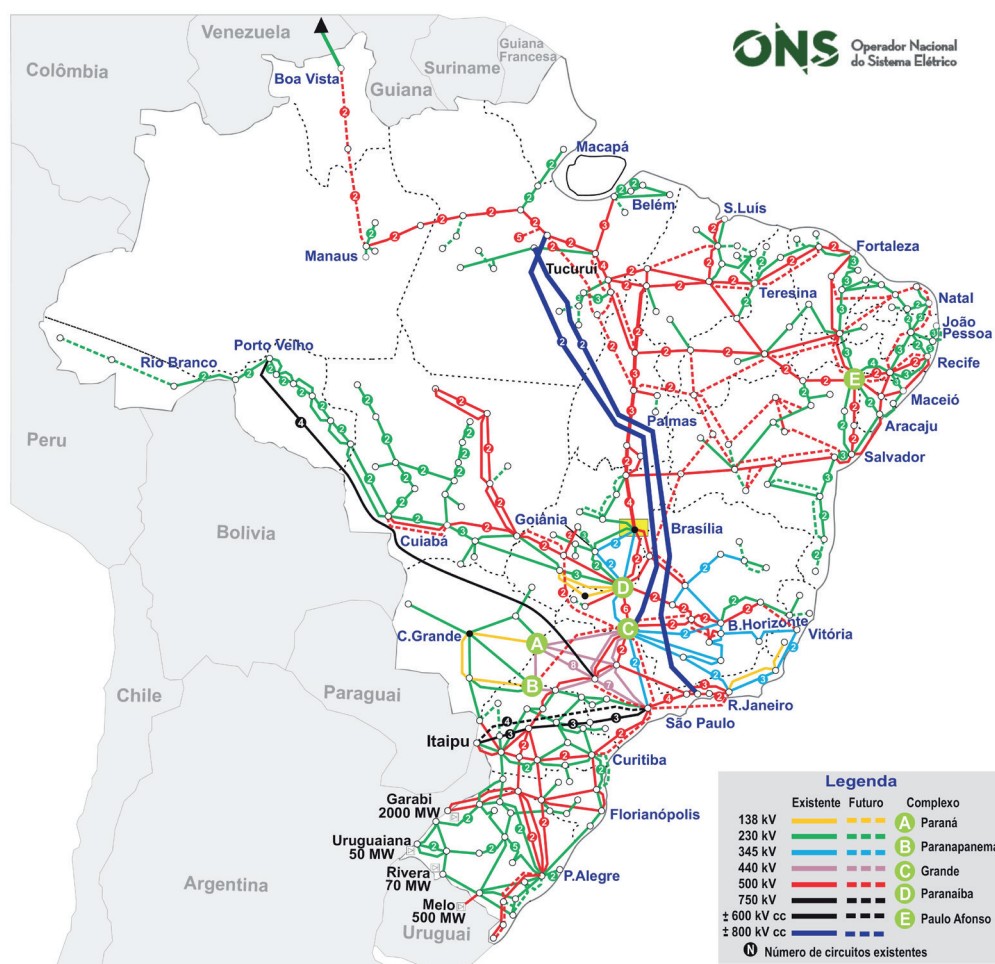
Região de Estudo

A região de estudo é a Floresta Nacional (FLONA) de Altamira, que possui quatro Unidades de Manejo Florestal (UMF) sob concessão regulamentada e monitorada pelo SFB.



Energia e Resíduos na Amazônia

O crescimento do setor elétrico brasileiro é historicamente baseado em fontes hidráulicas disponíveis. Como a capacidade de geração de energia hidrelétrica em grande escala foi desenvolvida, grandes extensões de rede foram construídas para fornecer energia elétrica no país, que corresponde ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

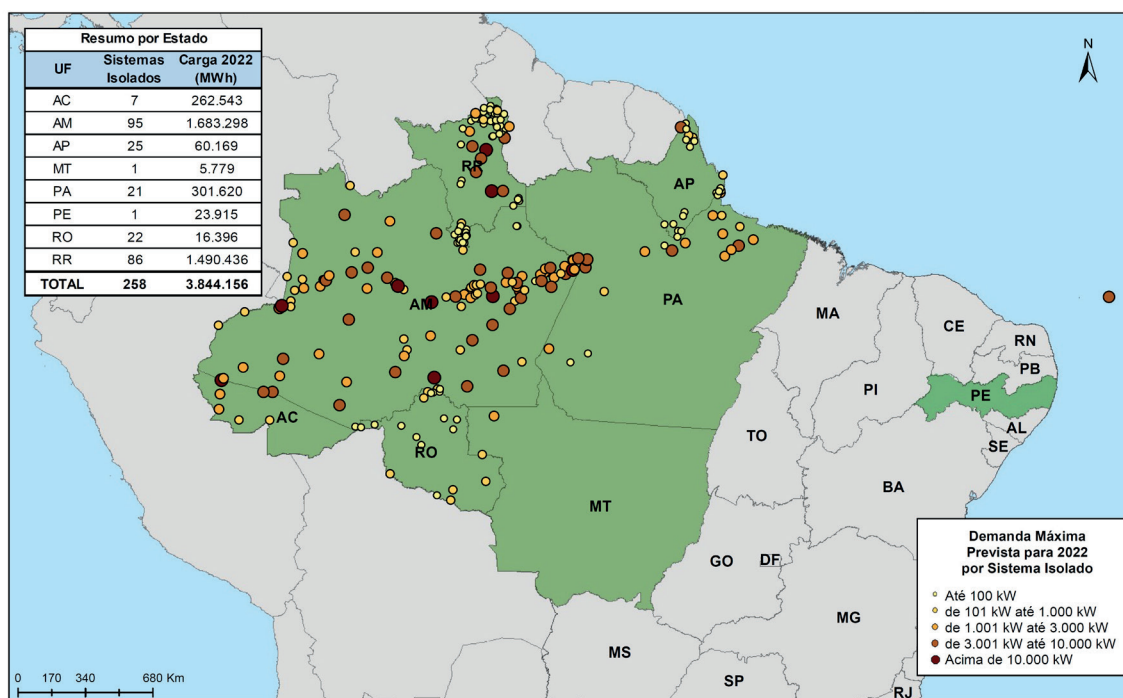


Mapa do SIN Horizonte 2022 (Operador Nacional do Sistema – ONS)

A geração de energia na Amazônia conta com mais de 200 usinas termelétricas, responsáveis pela energia dos chamados sistemas isolados. Nessas usinas predomina o uso de combustíveis derivados de fontes fósseis. Portanto, utilizar biomassa residual de madeiras da Amazônia, extraídas de forma legal e sustentável, é uma alternativa para geração de energia elétrica que reduz a dependência desses combustíveis e a emissão de gases de efeito estufa. Além disso, o uso energético desse material promove o saneamento básico local ao dar um destino sustentável aos resíduos madeiros que constituem passivo ambiental.

Os Sistemas Elétricos Isolados

Os Sistemas Elétricos Isolados se concentram principalmente na Região Norte. Isso ocorre devido às características geográficas dessa região, que dificultam a construção de linhas de transmissão de grande extensão, não permitindo com isso o intercâmbio de energia elétrica com outras regiões do país.

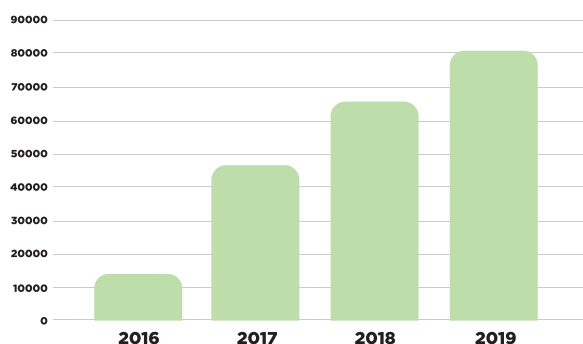


Mapa dos Sistemas Isolados horizonte 2025
(Empresa de Pesquisa Energética - EPE)

Geração de resíduos na FLONA de Altamira

O levantamento da produção madeireira da FLONA de Altamira e da geração de resíduos é uma etapa importante para avaliar o potencial de geração de energia para a região de estudo.

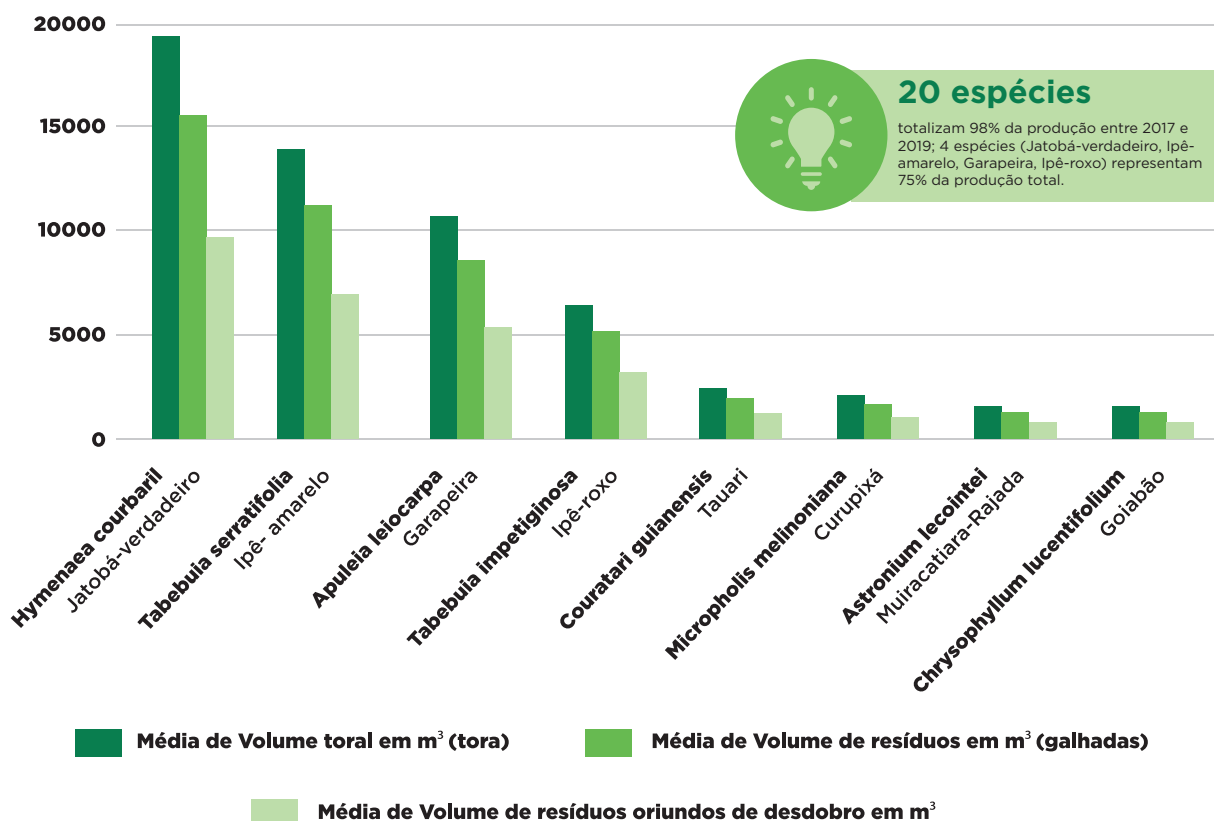
VOLUMETRIA ANUAL DE TORA (m³)



- Volumetria total de toras obtida nos anos de 2017, 2018 e 2019: **191.802,50 m³** de madeira em tora;
- Média anual de produção de tora: **63.934,17 m³**;
- Produção média anual de resíduo de serraria foi de **31.967,08 m³**;
- Produção média anual de resíduo de galhadas foi de **51.147,33 m³**;

- O universo total de espécies comercializadas na Flona de Altamira é de **45 espécies**;
- 20 espécies em conjunto **representam 98% de toda a volumetria comercializada entre 2017 e 2019**.

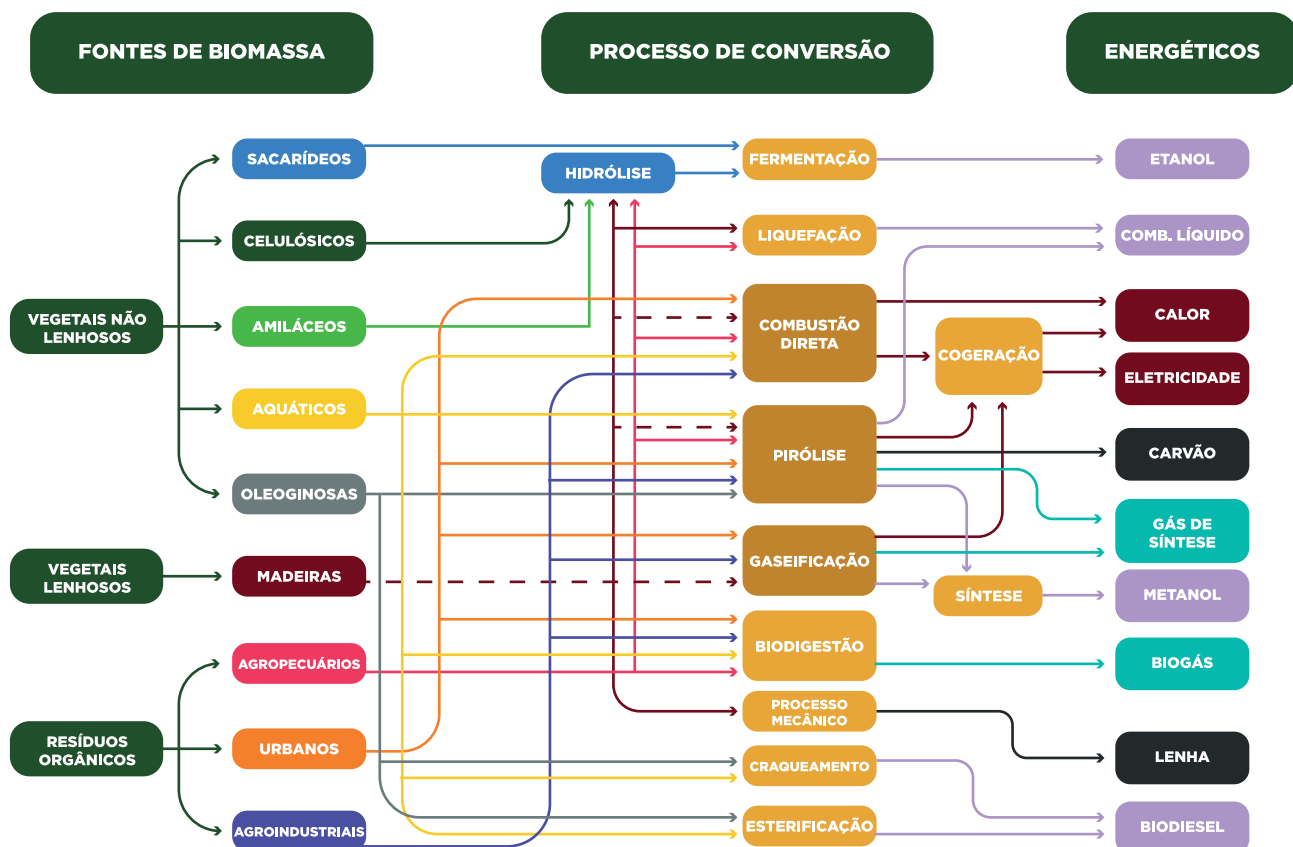
VOLUME MÉDIO DE TORA E DE RESÍDUOS DE GALHADA E DE SERRARIA DAS 8 PRINCIPAIS ESPÉCIES COMERCIALIZADAS ENTRE 2017 E 2019 (m³)



Tecnologias para Aproveitamento Energético de Resíduos

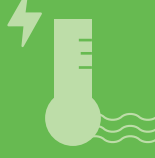
Energia da Biomassa

O aproveitamento energético da biomassa pode ser feito de diversas formas, compreendendo a combustão ou queima direta, os processos de gaseificação, os ciclos de geração utilizando vapor ou gás, o uso do álcool combustível ou óleos vegetais para gerar trabalho mecânico, e o aproveitamento bioquímico através da decomposição anaeróbica. Esta ampla gama de possibilidades caracteriza a biomassa como uma fonte versátil de energia renovável, pois é viável para fornecer eletricidade, calor e combustível (líquidos, sólidos e gasosos), além de ser facilmente armazenável e transportável. Para o presente estudo, iremos considerar o aproveitamento energético da biomassa residual madeira através das rotas tecnológicas da pirólise, gaseificação e combustão direta.



Parâmetros de Entrada

Para o estudo das tecnologias consideradas (pirólise, gaseificação e combustão), utilizamos como parâmetros de entrada a quantidade de resíduos, a densidade, a umidade e o poder calorífico líquido. Nas premissas da análise econômica consideramos como cenário base a tarifa de energia igual a R\$ 450,00/MWh.

 Parâmetros	 Quantidade	 Densidade	 Umidade	 Poder Calorífico Líquido	
Valores	100	500	40% 67%	2.307	11,03
Unidades	ton/dia	kg/m ³	base úmida base seca	kcal/kg	MJ/kg

Premissas da Análise Econômica

Tarifa de Energia: **R\$ 450,00/MWh**

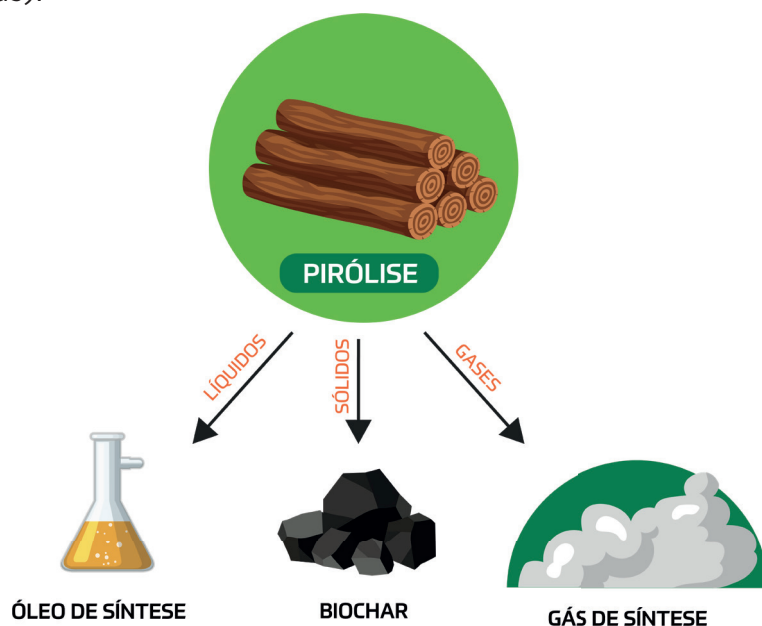
- Foco é a geração de energia;
- Desconsideramos receitas secundárias como vapor, calor, óleo sintético, biochar e remuneração pelo tratamento dos resíduos das serrarias.

Tabela comparativa do ranking da tarifa convencional de energia elétrica praticado pelas distribuidoras na região Norte

Distribuidora	UF	Ranking Norte	Ranking Brasil	Tarifa Convencional (R\$/MWh)
Celpe	PA	1	11	703
AmE	AM	2	15	693
ETO	TO	3	27	647
Eletroacre	AC	4	60	582
Roraima Energia	RR	5	63	575
Ceron	RO	6	86	514
CEA	AP	7	95	505
Região Norte	-	-	-	603
BRASIL (média)	-	-	-	590

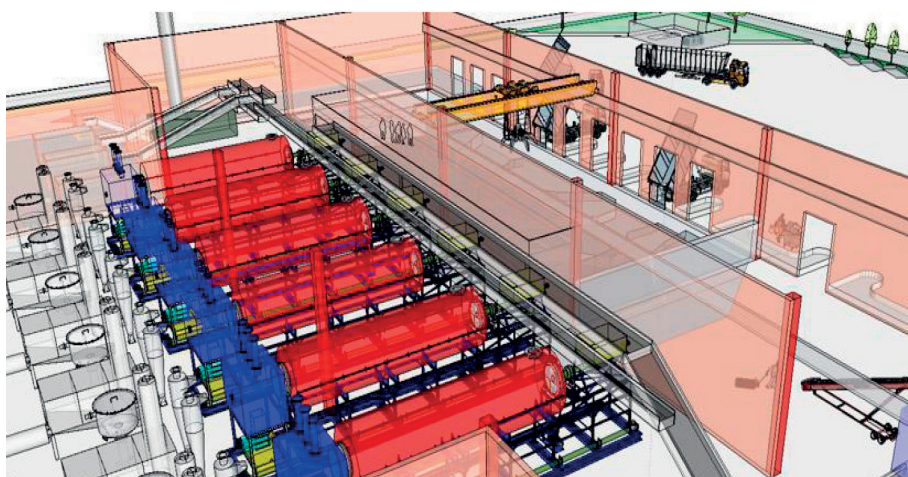
Tecnologia de Pirólise

Pirólise consiste na decomposição termoquímica de hidrocarbonetos na ausência (ou deficiência) de oxigênio. É uma reação endotérmica (absorve calor), ao contrário da combustão que é exotérmica (libera calor). Assim, necessita de um combustível auxiliar para iniciar o processo, que depois é substituído por parte do próprio combustível gerado. O produto final resulta em sólidos (carvão vegetal, biochar), líquidos (óleos sintéticos) e gasosos (gás de síntese de pirólise, também chamado de syngas).



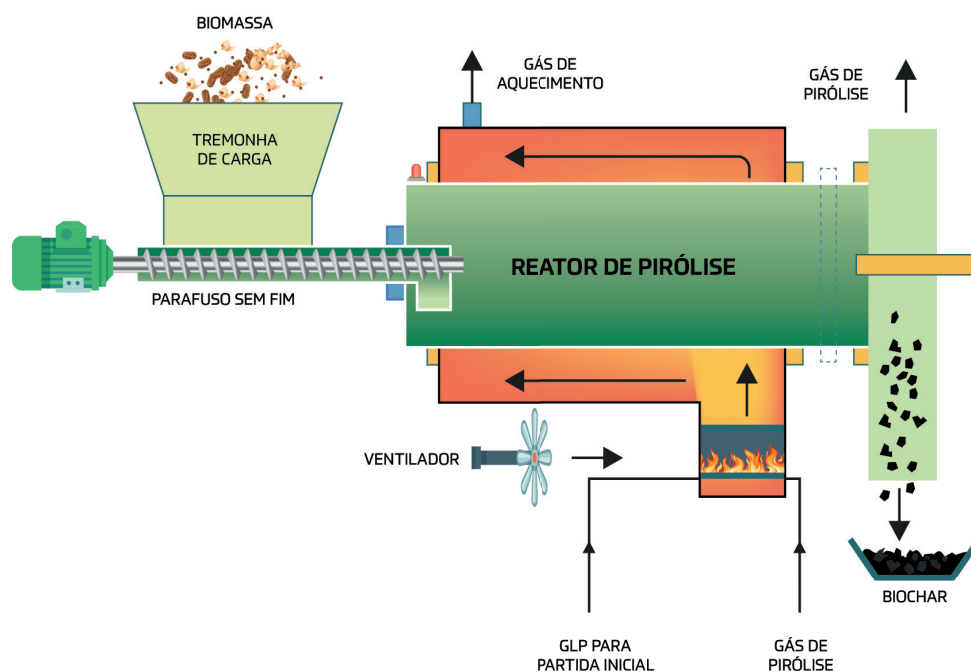
Tecnologia Modular e Compacta

Entre os diversos tipos de reatores e condições de operação, identificamos o modelo de tambor rotativo como o mais adequado para o estudo. Tem como característica ser uma tecnologia compacta e modular, onde colocando reatores em paralelo é possível aumentar a capacidade de tratamento sem aumento de área ocupada. A figura abaixo ilustra essa característica modular ao planejar o funcionamento de 6 reatores em paralelo.



Pirólise lenta a tambor rotativo, úmida e catalisada

Abaixo um corte esquemático do reator em estudo, adequado para biomassas com alto teor de umidade.



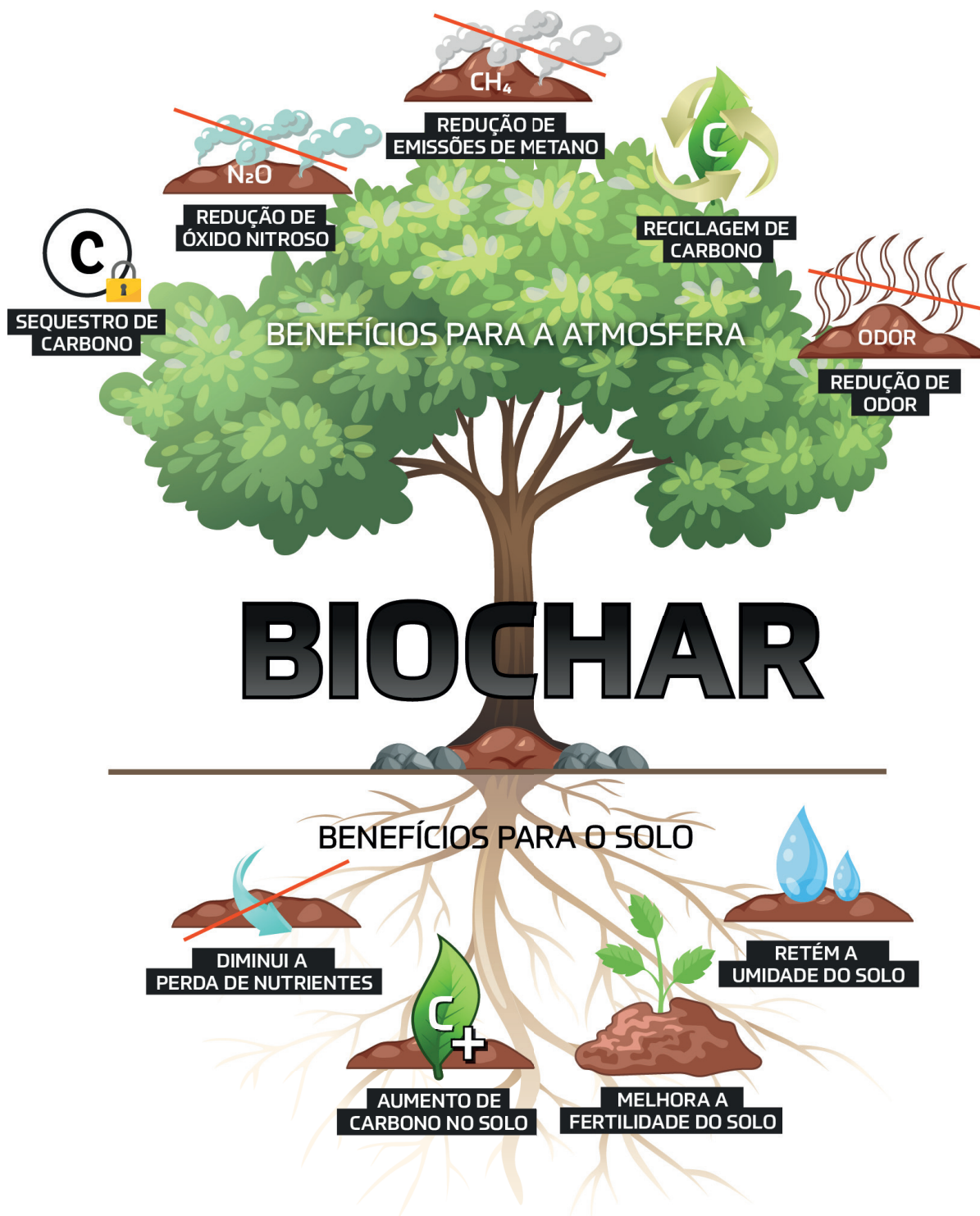
Tecnologia que une as características das reações de gaseificação (grande produção de gás) dentro de um ambiente pirólítico (sem oxigênio no processo)

Processo inovador:

- Produção de 90% de gás de pirólise e 10% de carvão biochar
- Redução da fração líquida dentro do reator
- Catalisadores neutralizam os gases ácidos formados
- Alta umidade (vapor d'água otimiza produção de gás)

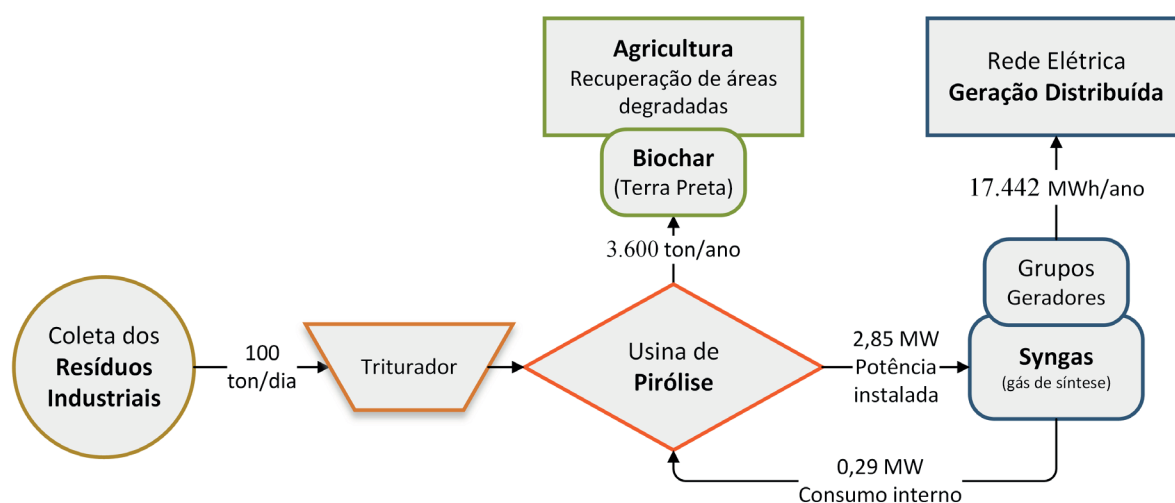
Conversão de Biomassa em Carvão (Biochar)

Quando a biomassa é utilizada na pirólise, obtemos além do gás de síntese um insumo agrícola de alto valor agregado chamado de **biochar (biocarvão)**. Ao ser aplicado no solo, confere uma série de propriedades que permitem um ganho de produtividade, sequestro de carbono da atmosfera, retenção de água, incorporação de matéria orgânica, redução do lixiviamento de fertilizantes, enriquecimento do solo para viveiros de mudas florestais, entre outras vantagens.



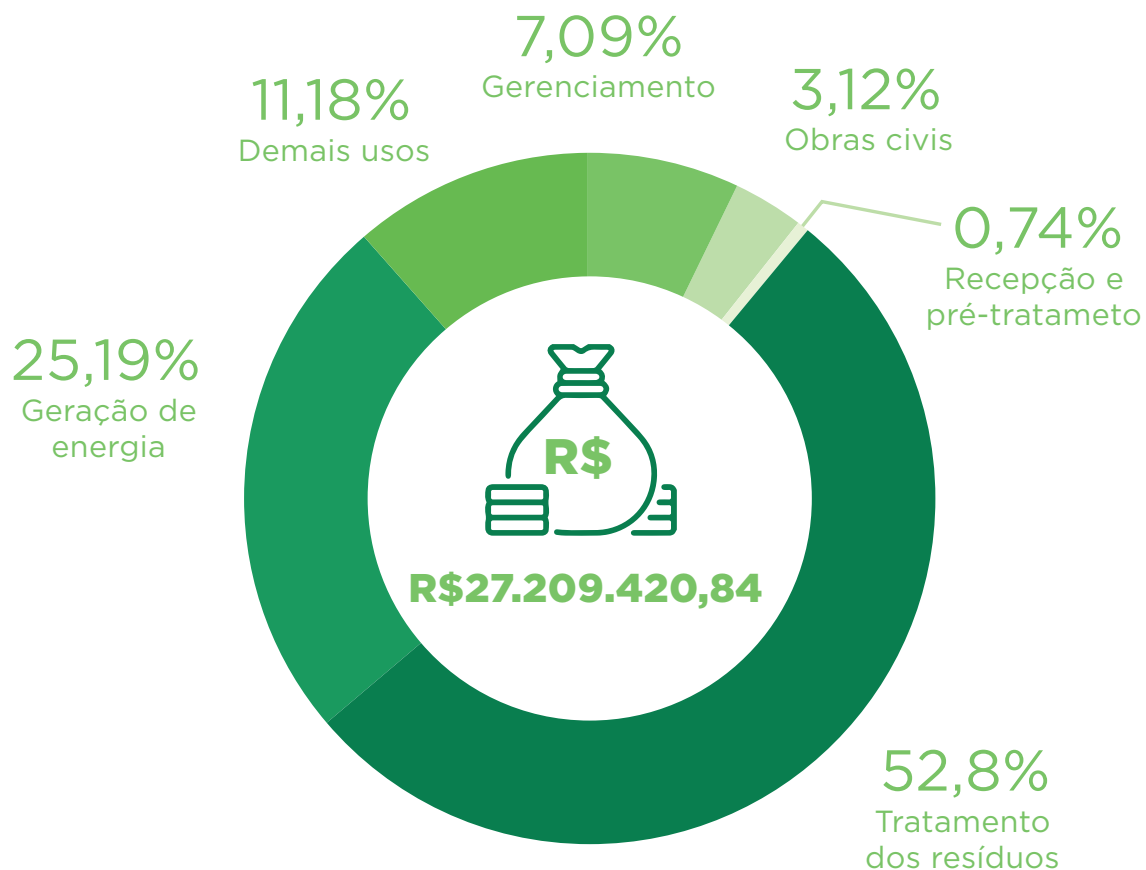
Pirólise - Resultados Técnicos

Produção		Performance
	Resíduo tratado - diário	100 ton/dia
	Resíduo tratado - anual (360 dias)	36.000 ton/ano
	Potência bruta instalada	2,85 MW
	Demanda da planta de tratamento	0,29 MW
	Energia produzida	20.520 MWh/ano
	Uso próprio	3.078 MWh/ano
	Energia para exportação	17.442 MWh/ano
	Biochar produzido	3.600 ton/ano



Pirólise – Resultados Econômicos

Composição dos Investimentos por Categoria (%)



Investimentos, Receitas e Despesas

Componente	Valores
 Receita Projetada (anual)	R\$ 9.234.000,00
 Despesa Operacional (anual)	R\$ 4.660.360,00
 Investimento	R\$ 27.209.421,00

Pirólise – Resultados Financeiros

Para os resultados financeiros, foram simulados 4 cenários diferentes, variando a tarifa de energia em R\$ 50,00 para cada cenário, começando com o valor de R\$ 350,00 no cenário 1. Os parâmetros de entrada foram mantidos iguais.

Indicadores Financeiros

Índices	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3 (BASE)	Cenário 4
Tarifa Energia (R\$/MWh)	350	400	450	500
Receita anual projetada (R\$x1000)	7.489,80	8.361,90	9.234,00	10.106,10
Retorno de Investimento do Projeto				
Retorno sobre investimento (ROI)	8,9%	11,9%	14,8%	17,8%
Taxa Interna de Retorno (TIR)	5,3%	9,4%	12,7%	15,7%
Retorno sobre Patrimônio Líquido				
Retorno sobre Patrimônio (ROE)	6,0%	9,1%	12,1%	14,8%
VPL Equity (12%) (R\$x1000)	-9.964,92	-4.919,68	125,57	5.170,81
Payback (anos)	12,81	9,23	7,25	5,99



Os resultados da simulação mostram que os indicadores são bastante sensíveis à variação da tarifa de energia. Vale ressaltar que o potencial de melhoria dos indicadores financeiros é bastante favorável, pois o preço médio da energia no Brasil é de R\$ 590,00/MWh e na Região Norte é de R\$ 603,00/MWh.

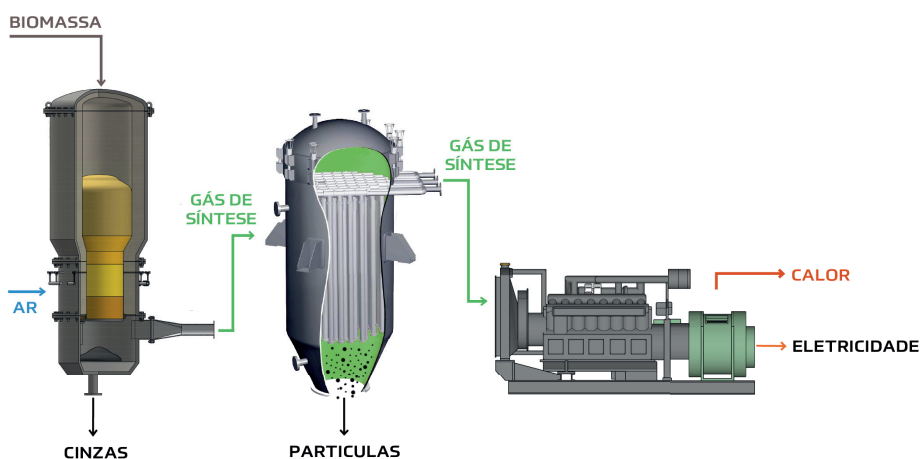
Tecnologia de Gaseificação

O processo de gaseificação de combustíveis sólidos é bastante antigo, tendo como objetivo produzir um combustível gasoso através do sólido, utilizando-o como matéria prima para diversas aplicações. Consiste em um processo de decomposição termoquímica de hidrocarbonetos intermediário entre a pirólise e a combustão. Utiliza ar/oxigênio no reator, porém em quantidade não suficiente para realizar a queima completa do combustível.



Existem diversos tipos de reatores e diferentes processos de gaseificação. Como resultado temos gás em grande quantidade (aproximadamente 90%) e produção de cinzas (aproximadamente 10%). O gás combustível produzido pela gaseificação é composto de hidrogênio (H_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), nitrogênio (N_2) e traços de hidrocarbonetos como metano (CH_4). A mistura entre H_2 e CO é conhecida como gás de síntese (syngas), que difere na composição do gás de síntese da pirólise apresentado na seção anterior. Possui diversas aplicações possíveis, como mostrado no infográfico ao lado.

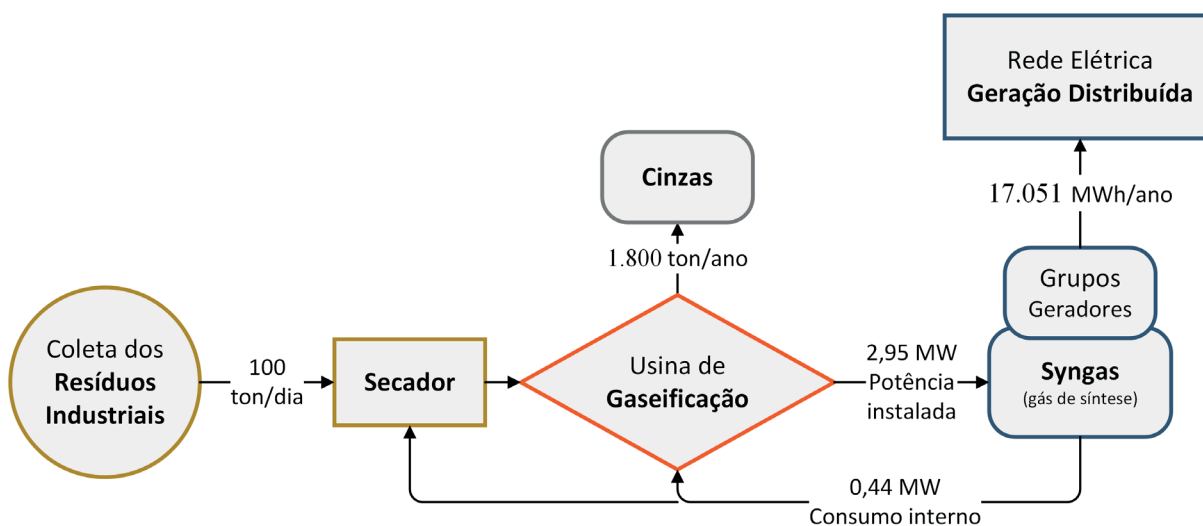
Gaseificador de Leito Fixo



O modelo do gaseificador proposto no estudo é como a figura acima, com reator do tipo leito fixo. A biomassa residual é alimentada no reator, e então é convertida em gás de síntese e cinzas. O gás passa por um processo de limpeza e filtragem para remoção de particulados e alcatrão antes de ir para geração de energia.

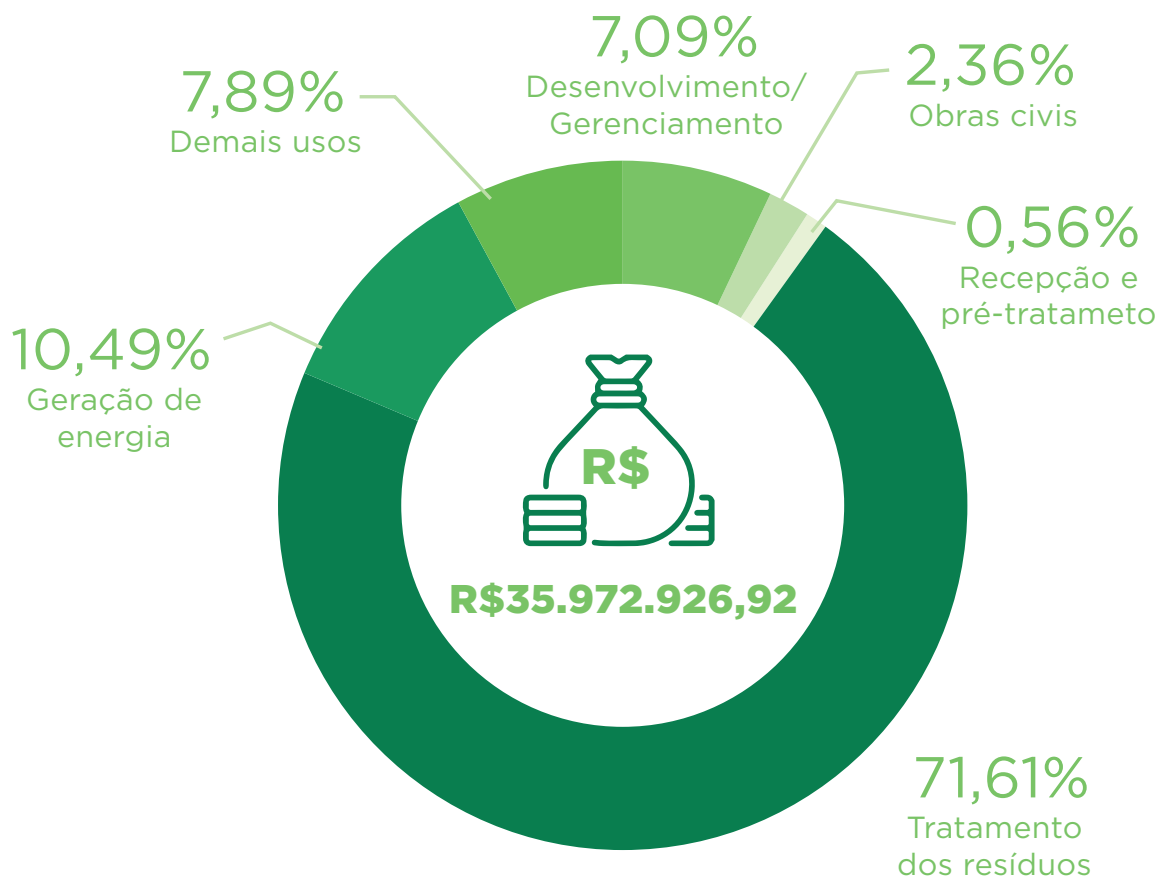
Gaseificação – Resultados Técnicos

	Produção	Performance
	Resíduo tratado - diário	100 ton/dia
	Resíduo tratado - anual (360 dias)	36.000 ton/ano
	Potência bruta instalada	2,95 MW
	Demanda da planta de tratamento	0,44 MW
	Energia produzida	20.060 MWh/ano
	Uso próprio	3.009 MWh/ano
	Energia para exportação	17.051 MWh/ano
	Cinzas produzidas	1.800 ton/ano



Gaseificação – Resultados Econômicos

Composição dos Investimentos por Categoria (%)



Receitas, Despesas e Investimentos

Componente	Valores
 Receita Projetada (anual)	R\$ 9.027.000,00
 Despesa Operacional (anual)	R\$ 4.923.570,00
 Investimento	R\$ 35.972.927,00

Gaseificação – Resultados Financeiros

Para os resultados financeiros, foram simulados 4 cenários diferentes, variando a tarifa de energia em R\$ 50,00 para cada cenário, começando com o valor de R\$ 350,00 no cenário 1. Os parâmetros de entrada foram mantidos iguais.

Indicadores Financeiros

Índices	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3 (BASE)	Cenário 4
Tarifa Energia (R\$/MWh)	350	400	450	500
Receita anual projetada (R\$x1000)	7.321,90	8.174,45	9.027,00	9.879,55
Retorno de Investimento do Projeto				
Retorno sobre investimento (ROI)	5,5%	7,7%	10,0%	12,2%
Taxa Interna de Retorno (TIR)	-0,23%	4,3%	7,5%	10,1%
Retorno sobre Patrimônio Líquido				
Retorno sobre Patrimônio (ROE)	3,1%	7,4%	7,7%	9,9%
VPL Equity (12%) (R\$x1000)	-19.786,37	-14.854,23	-9.922,08	-4.989,94
Payback (anos)	29,21	14,70	11,12	8,84

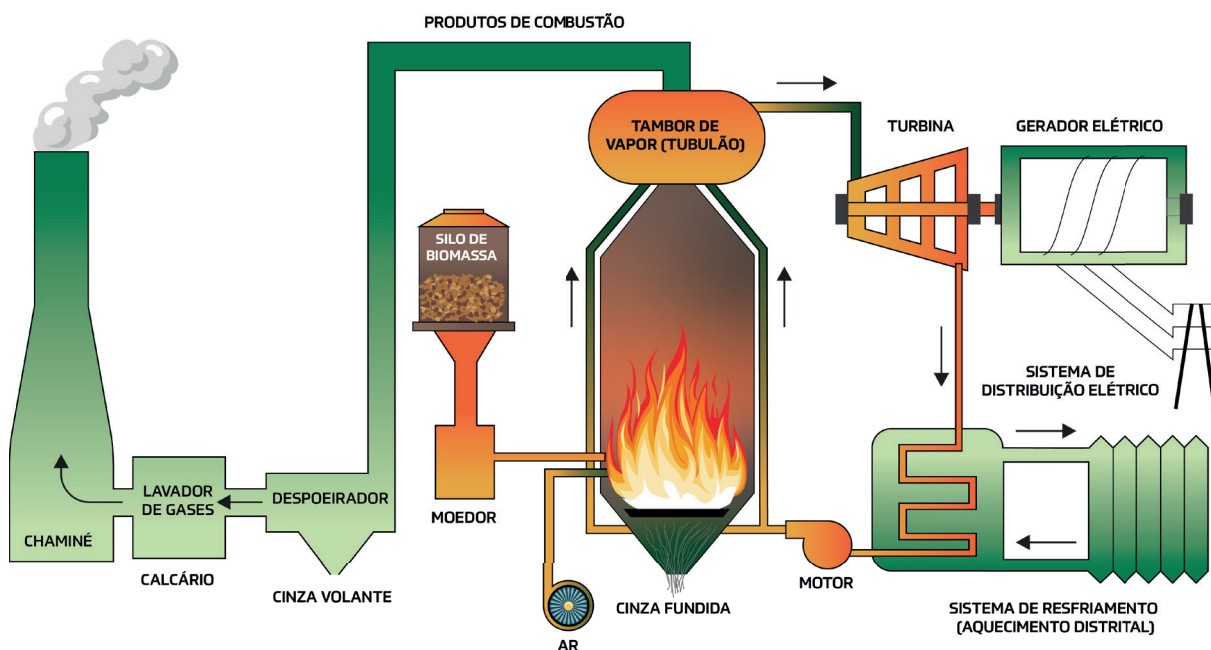


As observações feitas sobre as tarifas de energia para os resultados da pirólise também se aplicam à gaseificação. A gaseificação apresentou resultados não atrativos para o cenário base de 100 ton/dia de resíduos. A partir de 125 ton/dia já mostrou viabilidade financeira, conforme mostrado na seção “Resultados – Comparativo das Tecnologias” na página 31.

Tecnologia de Combustão

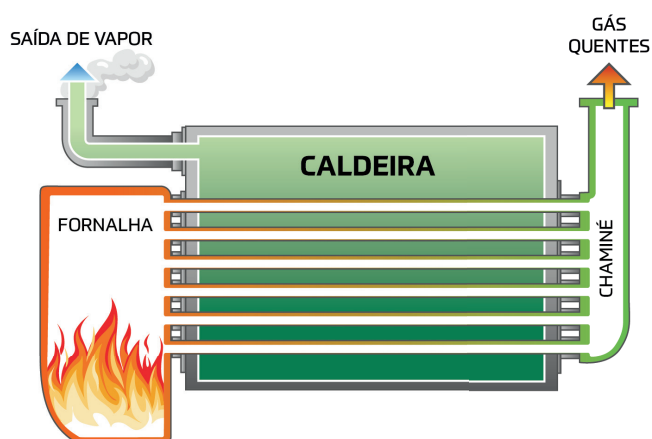
É uma reação termoquímica de oxidação de materiais combustíveis, onde os reagentes geralmente são o oxigênio do ar e um hidrocarboneto. Processo **exotérmico**, tendo como produtos substâncias residuais resultantes da reação entre os reagentes, compreendendo compostos de CO_2 e H_2O , além de CO , NO , hidrocarbonetos e particulados.

Diagrama geral de uma termelétrica a combustão.



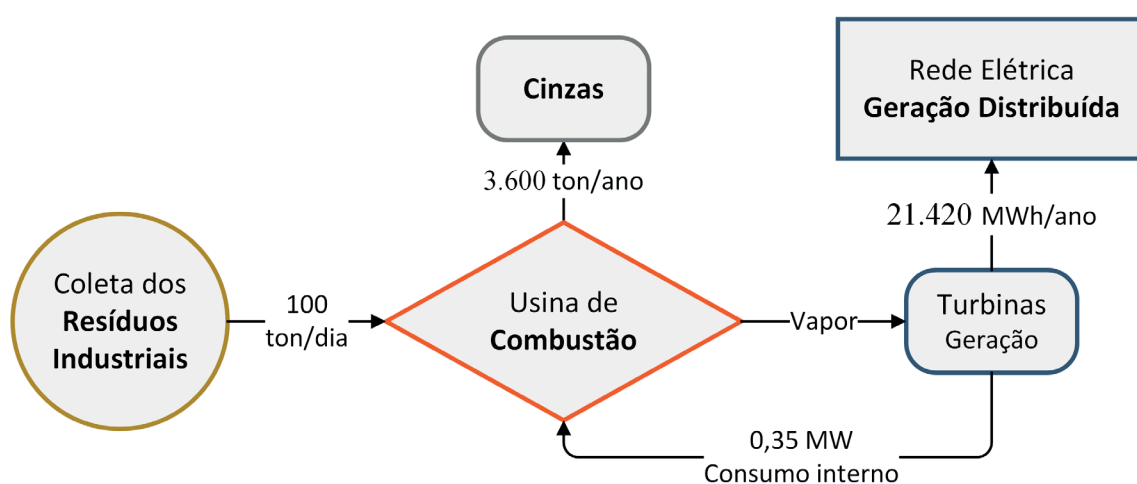
Caldeira Flamotubular

As caldeiras ou geradores de vapor podem ser divididos em dois grupos principais quanto ao tipo construtivo: flamotubulares e aquatubulares. No diagrama esquemático mostrado na figura ao lado temos o modelo de caldeiras flamotubulares, onde os gases de combustão circulam por dentro de tubos e cedem sua energia térmica para vaporizar a água ao seu redor. Esse foi o modelo adotado neste estudo.



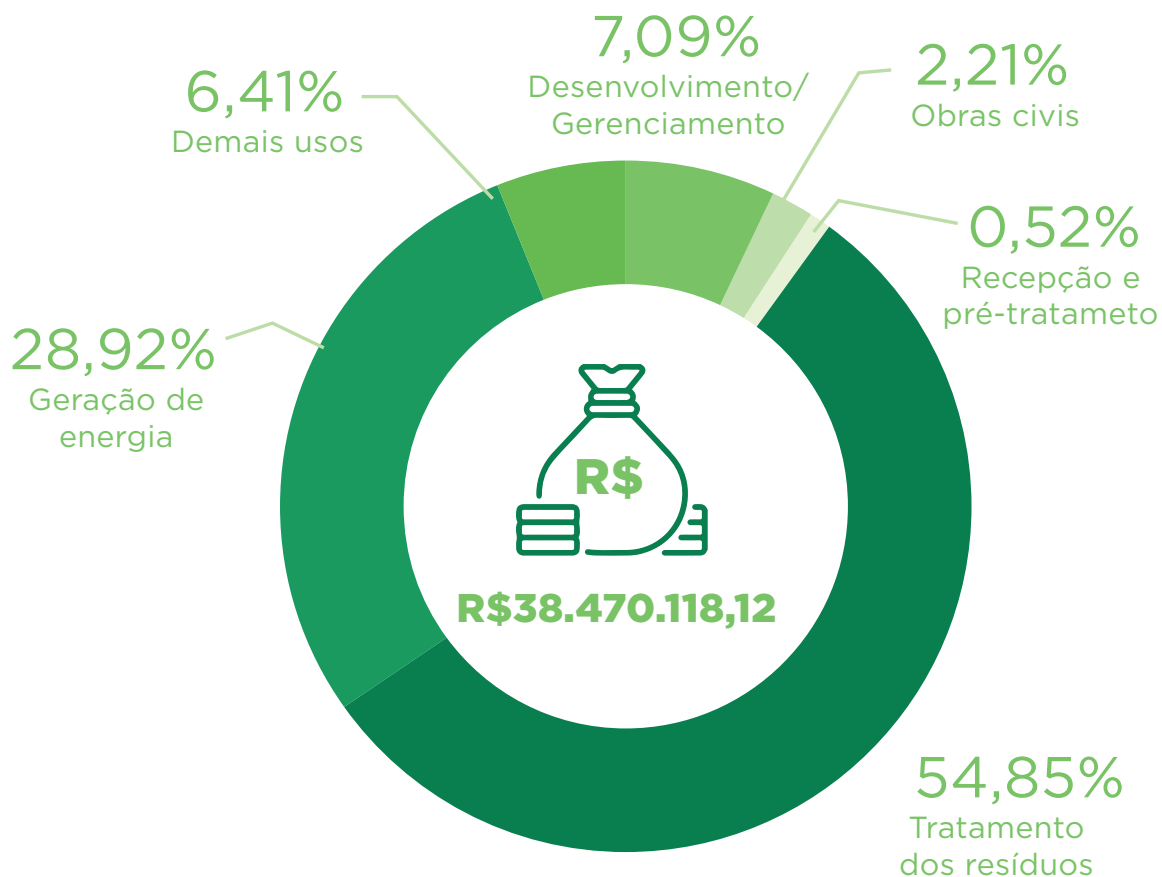
Combustão - Resultados Técnicos

	Produção	Performance
	Resíduo tratado - diário	100 ton/dia
	Resíduo tratado - anual (360 dias)	36.000 ton/ano
	Potência bruta instalada	3,5 MW
	Demanda da planta de tratamento	0,35 MW
	Energia produzida	25.200 MWh/ano
	Uso próprio	3.780 MWh/ano
	Energia para exportação	21.420 MWh/ano
	Cinzas produzidas	3.600 ton/ano



Combustão - Resultados Econômicos

Composição dos Investimentos por Categoria (%)



Receitas, Despesas e Investimentos

Componente	Valores
 Receita Projetada (anual)	R\$ 11.340.000,00
 Despesa Operacional (anual)	R\$ 5.033.530,00
 Investimento	R\$ 38.470.120,00

Combustão - Resultados Financeiros

Para os resultados financeiros, foram simulados 4 cenários diferentes, variando a tarifa de energia em R\$ 50,00 para cada cenário, começando com o valor de R\$ 350,00 no cenário 1. Os parâmetros de entrada foram mantidos iguais.

Indicadores Financeiros

Índices	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3 (BASE)	Cenário 4
Tarifa Energia (R\$/MWh)	350	400	450	500
Receita anual projetada (R\$x1000)	9.198,00	10.269,00	11.340,00	12.411,00
Retorno de Investimento do Projeto				
Retorno sobre investimento (ROI)	9,5%	12,1%	14,7%	17,3%
Taxa Interna de Retorno (TIR)	6,7%	9,9%	12,7%	15,3%
Retorno sobre Patrimônio Líquido				
Retorno sobre Patrimônio (ROE)	7,1%	9,7%	12,2%	14,6%
VPL Equity (12%) (R\$x1000)	-11.820,32	-5.624,40	571,51	6.767,43
Payback (anos)	11,64	8,8	7,26	6,14



As observações feitas sobre as tarifas de energia para os resultados da pirólise e da gaseificação também se aplicam à combustão.

Resultados

Volume Mínimo de Resíduos para Viabilidade Econômica

A quantidade mínima de 100 ton/dia viabiliza economicamente as plantas de pirólise e combustão. Já para a gaseificação, há a necessidade de no mínimo 125 ton/dia. A tabela a seguir demonstra os resultados financeiros para diversas capacidades de planta, considerando a tarifa de energia a R\$ 450,00/MWh (cenário base).

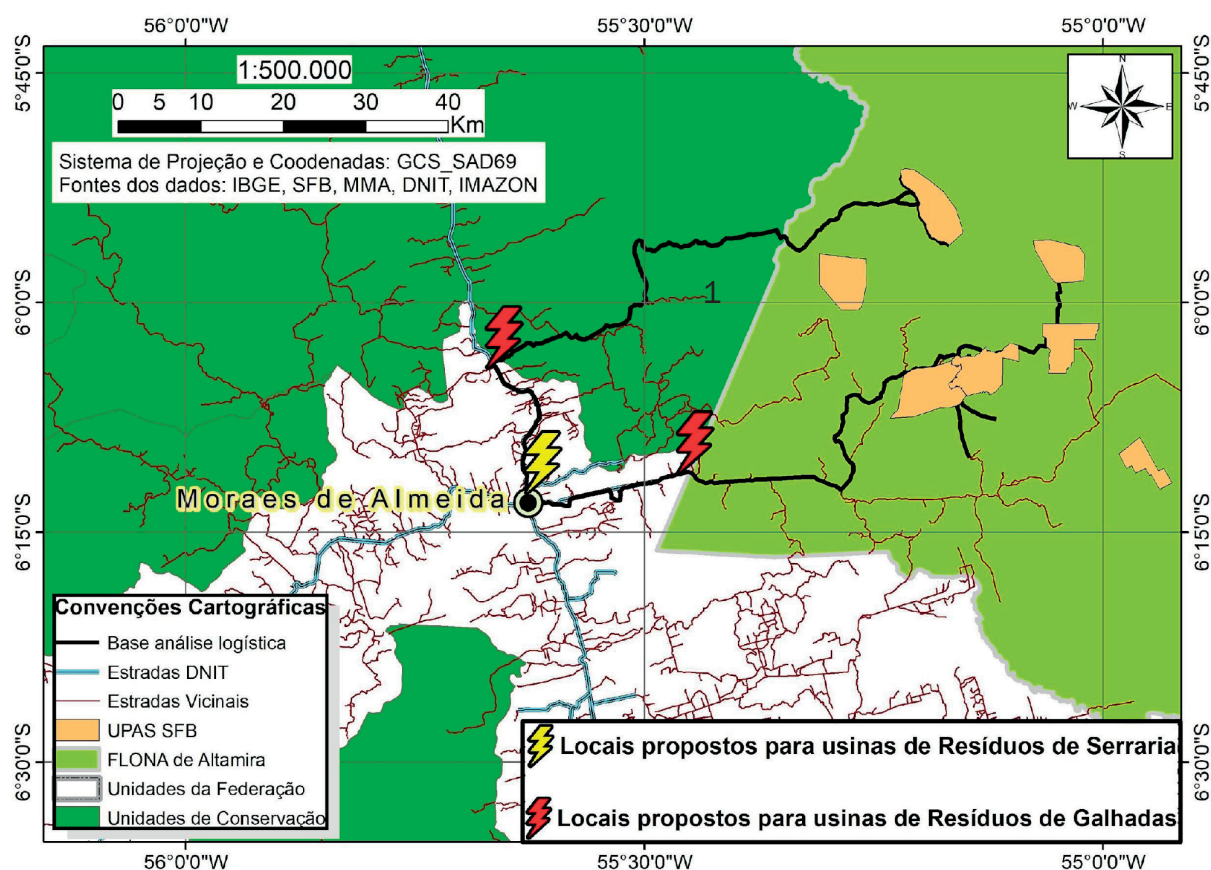
Cenário	Pirólise		Gaseificação		Combustão	
	ROI	VPL (R\$x1000)	ROI	VPL (R\$x1000)	ROI	VPL (R\$x1000)
01: 25 ton/dia	-4,1%	-33.442,87	-3,9%	-43.372,12	-2,3%	-41.584,92
02: 50 ton/dia	2,2%	-20.551,60	0,9%	-30.426,43	3,4%	-25.193,83
03: 75 ton/dia	8,7%	-7.426,18	5,7%	-17.480,75	9,0%	-8.802,74
04: 100 ton/dia	14,8	125,57	10,0%	-9.922,08	14,7%	571,51
05: 125 ton/dia	21,4%	18.577,96	14%	7.043,32	20,3%	23.979,44



Como observado na página 11, a geração de resíduos na FLONA de Altamira vem aumentando ao longo de cada ano, tendo a possibilidade de atingir o volume mínimo para viabilizar a gaseificação em pouco tempo.

Estudo de Logística para Uso de Resíduos de Serrarias e Galhadas

No estudo de logística realizado, consideramos o uso de resíduos de serrarias, além do uso de resíduos da exploração florestal (galhadas). Os resultados mostraram que a usina deve ser localizada junto às serrarias para minimizar os custos logísticos, no distrito Moraes de Almeida, conforme figura abaixo.



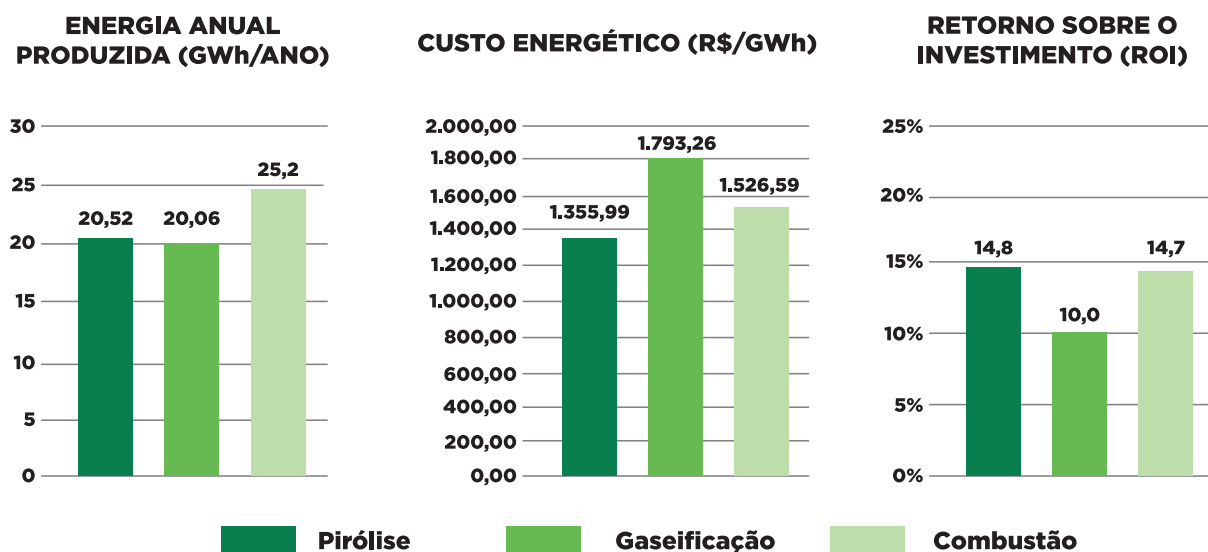
Quanto ao uso das galhadas, as plantas devem estar localizadas o mais próximo possível dos pontos de geração na FLONA. Os cálculos apontam um custo logístico de R\$ 77,88/ton para transporte até as localidades indicadas em vermelho na figura acima, tornando inviável o uso dos resíduos de galhada para a geração de energia.

Comparativo das Tecnologias

Para os resultados comparativos, os dados são relativos ao cenário base de 100 ton/dia de resíduos e preço de energia de R\$ 450,00/MWh.

	Pirólise	Gaseificação	Combustão
Indicadores técnicos			
Potência instalada (MW)	2,85	2,95	3,50
Demanda interna de planta (MW)	0,29	0,44	0,35
Energia anual produzida (GWh/ano)	20,52	20,06	25,20
Energia anual exportada (GWh/ano)	17,44	17,05	21,42
Indicadores econômicos			
Custo de investimento (R\$ x 1000)	27.209,42	35.972,93	38.470,12
Custo de potência (R\$/MW x1000)	9.547,16	12.194,21	10.991,46
Custo energético (R\$/GWh)	1.325,99	1.793,26	1.526,59
Custo anual de O&M (R\$ x 1000)	4.660,36	4.923,57	5.033,53
Receita anual projetada (R\$ x 1000)	9.234,00	9.027,00	11.340,00
Indicadores financeiros			
Retorno sobre investimento (ROI)	14,8%	10,0%	14,7%
Retorno sobre patrimônio (ROE)	12,7%	7,7%	12,2%
VPL (12%) (R\$ x 1000)	125,57	-9.922,08	571,51
Payback do projeto (anos)	7,25	11,12	7,26
Indicadores ambientais			
Emissões atmosféricas	Baixa	Baixa	Alta
Consumo de água	Baixo	Baixo	Alto
Disposição final	Biochar	Cinzas	Cinzas
Sustentabilidade global	Alta	Alta	Baixa

Comparativo – principais indicadores



- A combustão resultou na maior potência instalada e maior geração de energia elétrica;
- A gaseificação obteve maior potência instalada do que a pirólise, mas com menor geração de energia anual;
- Com maior geração de energia, a combustão teve melhor receita anual, seguida pela pirólise e gaseificação;
- A combustão obteve os melhores índices de VPL e retorno financeiro, porém é a tecnologia com maior custo de investimentos e custos de operação e manutenção, seguido pela gaseificação. A pirólise mostrou ter o menor custo de operação e manutenção;
- A pirólise possui a melhor relação real investido/energia gerada, mostrado pelo indicador custo energético (R\$/kWh). Em seguida vem a combustão e por último a gaseificação.



No cenário base de 100 ton/dia de volume de resíduos, a gaseificação mostrou-se inviável, necessitando ao menos de 125 ton/dia para viabilidade. A Pirólise e combustão são viáveis a partir de 100 ton/dia.

Rotas de Apoio e Gargalos Tecnológicos

Tecnologia	Descritivo	Grau de Maturidade no Brasil	Gargalos Técnicos	Setores Impactados
Pirólise	Geração de combustíveis sólidos (biochar), líquidos (óleo sintético) e gás (gás de síntese de pirólise). Geração de energia elétrica em grupos geradores a diesel ou gás.	Em desenvolvimento, tendo experiências bem sucedidas com plantas piloto, protótipo e escala laboratorial.	Limpeza de gás de pirólise, com eliminação de alcatrão para plena geração de energia.	Agroindústria, setor madeireiro, celulose e papel, petroquímica, energia.
Gaseificação	Geração de gás de síntese de biomassa com agente gaseificante, com geração de energia elétrica em grupos geradores a gás.	Crescimento, já existindo plantas de gaseificação para bagaço de cana e resíduos agroindustriais como casca de arroz.	Umidade da biomassa deve ser baixa, muitas vezes precisando passar pela secagem, o que pode inviabilizar a tecnologia.	Agroindústria, setor madeireiro, energia, petroquímica através da síntese de Fischer Tropsch.
Combustão	Queima direta de biomassa para produção de vapor e geração de energia em turbinas.	Maduro, com tecnologia já dominada, existindo diversas plantas de aproveitamento energético de bagaço de cana para geração de energia.	Alto custo de implantação do sistema caldeira e turbinas. Alto consumo de água.	Geração de energia, agroindústria, cimenteiras.

Principais gargalos para uso da biomassa residual de madeira na Região Norte:

- Dificuldade e alto custo logístico para uso das galhadas;
- Alto teor de umidade dos resíduos madeireiros, que reduz a eficiência global das plantas;
- Grandes flutuações de preço no mercado de energia.



Mesmo com os gargalos tecnológicos levantados, a análise demonstrou a viabilidade técnica e econômica da geração de energia com resíduos de madeira na Região Norte, adotando-se parâmetros bem conservadores no cenário base.

Conclusão

Os resíduos do processamento de madeira na Amazônia apresentam grande potencial para a geração de energia elétrica, conforme demonstrado nesse estudo. Esse potencial agrega valor aos resíduos, que passam da condição de problema social e ambiental à condição de matéria prima para geração de energia elétrica descentralizada, com benefícios sociais, econômicos e ambientais. É fundamental, contudo, garantir que os resíduos madeireiros tenham origem legal e sustentável, como no caso das concessões de florestas públicas.

Os sistemas de energia com base nos resíduos madeireiros mostraram-se viáveis com o preço da energia a partir de R\$ 450,00/MWh. O cenário base de 100 ton/dia aponta que a pirólise e a combustão apresentam alta rentabilidade, boa relação custo-benefício e baixo tempo de retorno de investimento. A gaseificação se viabiliza a partir de 125 ton/dia, porém apresentou menor rentabilidade em todos os cenários. Considerando os indicadores técnicos, econômicos, financeiros e ambientais, a pirólise apresentou o melhor desempenho, seguida da combustão e por último a gaseificação.

O poder público e a iniciativa privada precisam promover o desenvolvimento e implementação dessas tecnologias, principalmente em regiões remotas, que são atualmente supridas por usinas termelétricas movidas a óleo diesel. Apenas o custo logístico de transporte desse combustível fóssil para regiões remotas poderia pagar a implementação de usinas descentralizadas, que são mais sustentáveis e apresentam melhor retorno financeiro no médio e longo prazo.





Projeto



Execução



Financiador



Apoiador



Ministério do
Meio Ambiente

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

