

Avaliação para a Implementação de uma Central de Processamento de Biomassa Energética no Polo Gesseiro do Araripe



**Instituto Nacional de Tecnologia (INT)
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)**

Rio de Janeiro, Julho de 2024

**Avaliação para a Implementação de uma Central de Processamento de
Biomassa Energética no Polo Gesseiro do Araripe**

**Desenvolvido por: Instituto Nacional de Tecnologia – INT / Ministério da
Ciência, Tecnologia e Inovação**

Autores:

Joaquim Augusto Pinto Rodrigues
Mauricio Francisco Henriques Jr.
Paula Rocha Cícero
Talita Pereira Faro da Silva
Luiz Felipe Lacerda Pacheco

O Instituto Nacional de Tecnologia (INT) desenvolveu o presente relatório sob encomenda da Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (SETEC) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), e com o apoio da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Computação Científica (FACC).

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA – INT

Divisão de Avaliações e Processos Industriais (DIAPI) – Laboratório de Energia (LABEN)

É permitida a reprodução total ou parcial deste material desde que citada a autoria do INT, e que não seja para fins comerciais. Os textos são de exclusiva responsabilidade dos autores.

Av. Venezuela, 82, Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

CEP: 20081-312

www.gov.br/int/pt-br

Contato:

augusto.rodrigues@int.gov.br

mauricio.henriques@int.gov.br

Para mais conteúdos do polo gesseiro, acesse:

www.gov.br/int/pt-br/central-de-conteudos/apl-gesso

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca do INT (COPTE)
Bibliotecária Lídia Maria da Silva Schrago Mendes - CRB 7 / 3756

I59a Instituto Nacional de Tecnologia (Brasil).

Avaliação para a Implementação de uma Central de Processamento de Biomassa Energética no Polo Gesseiro do Araripe / Joaquim Augusto Pinto Rodrigues ... [et al.] – Rio de Janeiro : INT, 2024.
– Documento eletrônico.

27p. : il. col.

Inclui bibliografia.

ISBN: 978-65-985944-0-4

1. Gesso. 2. Eficiência energética. 3. Biomassa. I. Título. II. Rodrigues, Joaquim Augusto Pinto. III. Henriques Junior, Mauricio Francisco. IV. Cícero, Paula Rocha. V. Silva, Talita Pereira Faro da. VI. Pacheco, Luiz Felipe Lacerda.

CDU: 620.9:666.9

SUMÁRIO

1.	Introdução	5
2.	Panorama dos Tipos e Origens de Lenha	6
3.	Eficiência Energética e Lenha Picada.....	8
4.	Emprego de Lenha Picada nas Calcinadoras	10
5.	Central de Biomassa	10
5.1.	Localização de Instalação	11
5.2.	Custos de Instalação	12
5.3.	Custos Operacionais da Central de Biomassa	13
5.4.	Biomassa Utilizada e Seus Custos Associados	14
5.5.	Lenha Picada e Valor de Comercialização	15
6.	Análise Técnica, Econômica e Financeira da Central de Biomassa	15
7.	Empresas Clientes da Central de Biomassa.....	19
7.1.	Custo da Adequação para a Nova Alimentação de Biomassa Picada	19
7.2.	Custo de Aquisição do Novo Combustível.....	19
7.3.	Adequação da Mão de Obra.....	20
8.	Análise Técnica, Econômica e Financeira da Adequação dos Clientes da Central de Biomassa para Uso do Novo Combustível.....	20
9.	Análise Técnica, Econômica e Financeira do Conjunto Central de Biomassa e Empresas Associadas.....	23
10.	Considerações Finais	24
11.	Referências Bibliográficas.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Municípios que compõem a região do APL gesseiro do Araripe em Pernambuco.	5
Figura 2. Fontes de biomassa energética de acordo com a sustentabilidade e legalidade.	7
Figura 3. Lenha de manejo florestal da Caatinga.	7
Figura 4. Lenha de algaroba e poda de cajueiro.	8
Figura 5. Lenha picada.	9
Figura 6. Rotas de captação de resíduos de cidades próximas.	11
Figura 7. Equipamento de moagem.	12

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Relação entre umidade e poder calorífico inferior.	9
Tabela 2. Custos para estruturação de uma Central de Biomassa.	13
Tabela 3. Valores mensais de frete para transporte do material residual para a Central de Biomassa.	15
Tabela 4. Análise econômica para a Central de Biomassa.	16
Tabela 5. Análise financeira para a Central de Biomassa.	18
Tabela 6. Variação do preço de venda de lenha picada.	20
Tabela 7. Análise econômica para os clientes da central.	21
Tabela 8. Análise financeira para os clientes da central.	22
Tabela 9. Avaliação conjunta para a Central de Biomassa e Empresas Clientes.	23

1. Introdução

O polo gesseiro da região do Araripe, situado no extremo oeste do estado de Pernambuco (Figura 1), é o principal produtor de gesso do país. Esse polo, também reconhecido como um Arranjo Produtivo Local (APL), se constitui como uma das principais atividades econômicas do estado, e emprega cerca de 20 mil pessoas. A produção se situa em aproximadamente 4,44 milhões de toneladas de gesso por ano, onde atuam 510 empresas, sendo 55 mineradoras, 185 calcinadoras e outras 270 fabricantes de pré-moldados de gesso (SINDUSGESSO, 2023).

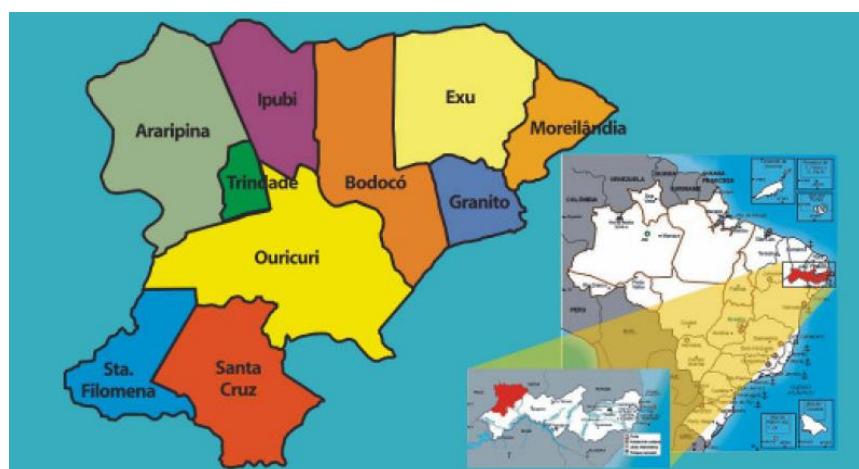


Figura 1.Municípios que compõem a região do APL gesseiro do Araripe em Pernambuco.
Fonte: Angelotti *et al.* (2021).

A produção de gesso é realizada em três etapas: mineração da gipsita, calcinação e produção dos artefatos de gesso. A etapa de calcinação é a principal do processo e onde se dá a transformação termoquímica do minério gipsita em gesso em pó. Na calcinação há o emprego de fornos rotativos horizontais, conhecidos como “barriga quente” ou “marmitas rotativas”, e há o uso de biomassas energéticas, provenientes de diversas fontes, inclusive de exploração irregular da mata nativa da Caatinga.

A crescente demanda por lenha tem desencadeado uma rápida devastação na vegetação local (Henriques Jr., 2013), tornando imperativa a implementação de medidas para mitigar o consumo ou a adoção de processos alternativos. No contexto de iniciativas para reduzir a demanda energética, tecnologias que promovam maior eficiência energética desempenham um papel crucial, podendo ser destacado o aprimoramento da combustão nos calcinadores, incluindo-se a adoção de lenha picada nestes equipamentos.

Diante disso, as empresas calcinadoras teriam duas possibilidades – a primeira, implementar picadores de lenha nas suas próprias unidades fabris, ou a segunda – se

reunir em torno de uma cooperativa ou central de processamento de biomassas, que atenderia a um grupo de empresas calcinadoras. Nesta segunda hipótese, haveria a coleta de diversos resíduos de madeira em municípios próximos, e o processamento desses materiais e de parte da própria lenha atualmente usada. Essa central faria a distribuição para um grupo de empresas participantes do empreendimento e, de outro lado, as empresas que adotassem as biomassas energéticas picadas usufruiriam de ganhos econômicos por conseguirem maior eficiência energética nos seus processos de combustão.

Consequentemente, uma menor demanda de lenha ajudaria na redução do ritmo de devastação da vegetação nativa, menor perda de biodiversidade e attenuação dos riscos de desertificação. Portanto, o presente estudo avalia as condições ideais para estabelecer uma atratividade econômica para a instalação de uma Central de Biomassa (CB) na região do Polo Gesseiro do Araripe, quantificando economias de energia e contribuições para atenuar impactos ambientais associados à calcinação.

2. Panorama dos Tipos e Origens de Lenha

Atualmente a lenha em tora e galhos é a principal fonte de energia utilizada pelas indústrias calcinadoras para gerar calor nos fornos destinados à produção do gesso, dada à sua ampla disponibilidade e custo acessível. A lenha atualmente utilizada no polo gesseiro provém principalmente de quatro fontes, de acordo com Ndagijimana *et al.* (2015) *apud* MMA (2018), a saber: (i) lenha retirada da Caatinga, por meio de exploração florestal não autorizada e/ou de mudança do uso do solo (correspondendo a 65%); (ii) podas de árvores frutíferas diversas; (iii) algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) D.C.) (combinando ii e iii totalizando 20%); planos de manejo florestal sustentável da Caatinga (PMFS) (10%); e (iv) plantios de eucalipto (*Eucalyptus spp.*) (5%).

A partir da origem da biomassa é possível inferir sobre sua sustentabilidade e legalidade conforme indicado na Figura 2. A “sustentabilidade” está associada ao índice de renovabilidade da espécie vegetal, enquanto a “legalidade” diz respeito com a legislação conforme ilustrado.

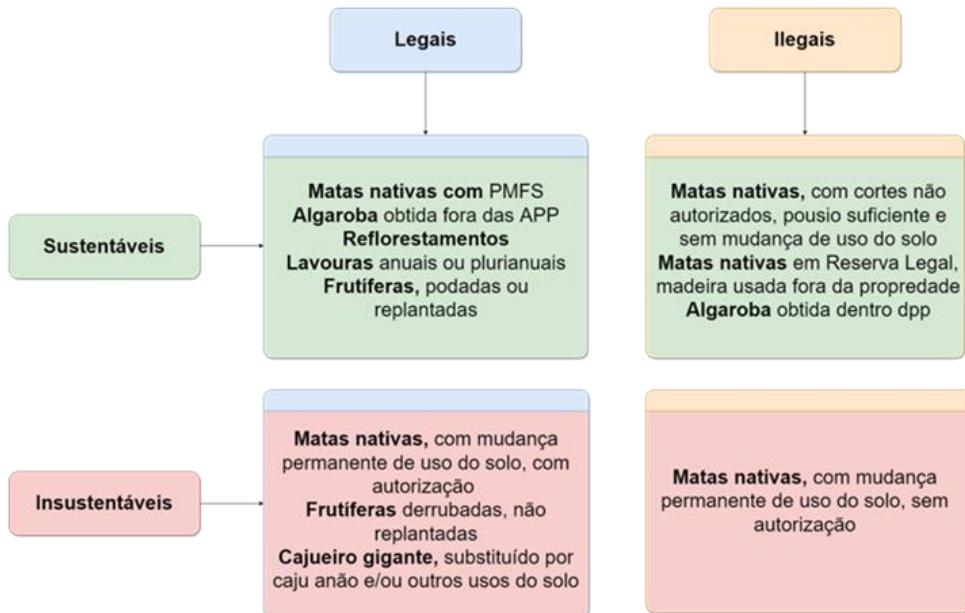


Figura 2. Fontes de biomassa energética de acordo com a sustentabilidade e legalidade.
Fonte: MMA (2018).

Portanto, a lenha empregada é proveniente majoritariamente da exploração irregular da mata nativa da Caatinga, o que acelera os problemas de desertificação da região e mudanças climáticas. A forma sustentável e legal de extrair lenha é por meio do plano de manejo florestal sustentável (PMFS¹), onde a floresta é manejada de modo a obedecer a um determinado ciclo em anos para sua renovação, ao mesmo tempo em que outra parte é explorada.



Figura 3. Lenha de manejo florestal da Caatinga.

¹PMFS é compreendido como “documento técnico básico que contém as diretrizes e procedimentos para a administração da floresta, visando à obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, observada a definição de manejo florestal sustentável previsto conforme definição no art. 3º, inciso VI, da Lei no 11.284, de 2 de março de 2006” (BRASIL, 2006).

A algaroba é uma planta exótica introduzida no semiárido brasileiro há cerca de 50 anos através do programa de reflorestamento FISET, visando a produção de forragem e madeira (Ribaski *et al.*, 2009; MMA, 2018). Já as podas de árvores frutíferas ganharam destaque por não existir restrição legal para o seu uso, bem como pela ampla oferta proporcionada pela poda de espécies de caju gigante. Atualmente o seu emprego vem se reduzindo por um decréscimo da oferta, uma vez que ele vem sendo substituído pela espécie conhecida por caju anão, que produz uma menor quantidade de material lenhoso (MMA, 2018).



Figura 4. Lenha de algaroba e poda de cajueiro.

O plantio de eucalipto possui diversos usos, sendo uma espécie adaptável e de crescimento rápido, com ciclos curtos de corte, o que proporciona significativa produção de madeira. Seu potencial econômico vem assegurando crescimento no mercado brasileiro (IBGE, 2023; EMBRAPA, 2019).

3. Eficiência Energética e Lenha Picada

Uma estratégia fundamental para alcançar economias na produção industrial é a aplicação do conceito de eficiência energética, que visa utilizar uma quantidade menor de energia para atingir uma determinada produção ou produzir mais como uma mesma quantidade de energia (EPE, 2023). No contexto do Polo Gesseiro do Araripe, esse princípio de eficiência energética é particularmente relevante na etapa de calcinação, onde é possível otimizar o uso de lenha nos fornos.

Conforme mencionado, a lenha em toras e galhos é a fonte mais comum de energia usada nas empresas de produção de gesso, apresentando uma ineficiência energética no processo de combustão, devido à intermitência no processo de alimentação das toras, quanto pelo elevado volume de ar de combustão necessário. Por outro lado, a lenha picada ou processada na forma de serragem, pode aprimorar significativamente a eficiência da combustão, além de proporcionar maior estabilidade

no processo, garantindo economia de energia e melhor controle do processo, e consequentemente na obtenção de produtos com maior qualidade.

Na prática, a lenha picada permite operar com uma menor quantidade de ar de combustão, o que reduz as perdas nos chamados gases de exaustão (na chaminé). Como resultado, as perdas nestes gases quentes são minimizadas proporcionando maior eficiência energética (Henriques Jr. *et al.*, 2022).

Um problema adicional quando se opera com lenha em toras refere-se à produção de fuligem (carbono não queimado), que além de constituir uma perda energética, causa poluição intensa nas áreas vizinhas das empresas (Henriques Jr., 2013).



Figura 5. Lenha picada.

Fonte: LIPPEL (2023).

Outra vantagem da utilização da lenha picada refere-se ao teor de umidade, já que esta pode ser bastante reduzida no processo de “picagem”, melhorando ainda mais a combustão e provendo uma economia adicional de energia. A Tabela 1 mostra o poder calorífico inferior (PCI) *versus* umidade da lenha, onde se nota o quanto o conteúdo energético aumenta na medida em que a umidade da lenha é reduzida.

Tabela 1. Relação entre umidade e poder calorífico inferior.

Umidade na lenha (%)	35	25	15	5
Poder calorífico inferior (kcal/kg)	2.770	3.290	3.810	4.330

Fonte: Henriques Jr. *et al.*(2022).

4. Emprego de Lenha Picada nas Calcinadoras

Segundo as simulações realizadas através de pesquisa de campo (CEPIS, 2016) e cálculos teóricos de combustão, a economia de biomassa na queima nos fornos calcinadores pode atingir 25% (com base em condições operacionais existentes: teores de ar de combustão e temperatura de chaminé nos calcinadores).

Além disso, segundo dados coletados, a instabilidade na queima, provocada pelo uso de lenha em toras, gera uma perda (estimada em cerca de 5% da produção de gesso) ou produtos com menor qualidade, cujo valor comercial é aproximadamente 20% inferior ao preço praticado para um gesso 100% dentro de especificações técnicas. Atualmente, considerando o preço de venda da tonelada de gesso em pó de R\$ 240,00, e uma produção mensal de 2,0 mil toneladas/empresa (montante típico para uma calcinadora mediana), um fabricante pode deixar de arrecadar cerca de R\$ 57.600,00 por ano por produzir gesso com qualidade inferior.

Essa perda pode ser reduzida ou eliminada ao utilizar lenha picada, uma vez que a curva de queima passa a ser mais estável e de fácil controle.

5. Central de Biomassa

A Central de Biomassa (CB) consiste em uma unidade cujo objetivo é fornecer lenha picada e resíduos de madeira processados a um grupo de empresas clientes, interessadas em obter maior eficiência energética e garantir uma qualidade superior do gesso. A central é composta por poucos equipamentos, compreendendo um moedor/picador, um sistema de esteiras e galpão para o estoque de lenha.

Algumas empresas calcinadoras têm individualmente considerado a adoção da lenha picada como uma solução eficiente para a utilização da biomassa. No entanto, enfrentam desafios, como a necessidade constante de manutenção do picador, que pode dificultar a adoção do equipamento devido aos custos associados com reparos e mão de obra. Estas desvantagens não se aplicam à CB, uma vez que tais custos poderiam ser rateados entre os associados. Além disso, a CB, por operar com estoque, pois teria capacidade de armazenar e/ou vender material excedente de biomassa, inclusive para outras empresas fora do consórcio como também para outros segmentos.

Considerando que a Central de Biomassa pudesse atender 10 empresas clientes e com base na produção média de gesso em pó nas empresas calcinadoras de 2.000 t/mês (SINDUSGESSO, 2023), obtém-se um consumo médio mensal de lenha de 1.000 m³st/empresa ou 300 t/empresa, considerando um consumo específico de lenha de 0,5 m³ estéreo por tonelada de gesso, e 1,0 m³ estéreo de lenha equivalente a 300 kg

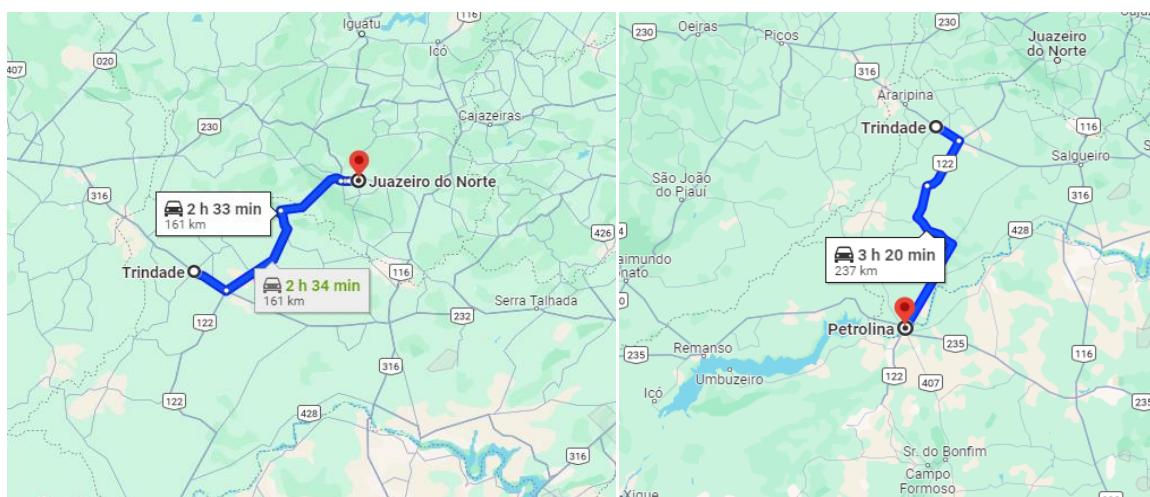
de lenha, em relação a essa produção. Para um consumo médio de lenha por empresa dessa quantidade mensalmente, a central necessitaria produzir aproximadamente 10.000 m³st (3.000 t) por mês de biomassa processada.

5.1. Localização de Instalação

A seleção do local para a instalação da Central de Biomassa baseia-se na identificação de um ponto central com a menor distância possível entre as empresas clientes/associadas e os principais fornecedores de lenha e de resíduos de madeira. O volume de resíduos a ser coletado é outro fator crucial a ser considerado, uma vez que impacta diretamente na viabilidade econômica e operacional da CB, conforme será abordado adiante.

Diante disso, o estudo identificou o município de Trindade – PE, onde a maioria das empresas calcinadoras está localizada. A coleta dos resíduos poderia sedar nos municípios próximos, de Juazeiro do Norte – CE e Petrolina – PE, distantes a cerca de 160 km e 240 km, respectivamente da CB (Figura 6). A escolha das cidades para a coleta dos resíduos levou em consideração o critério da população, uma vez que cidades mais populosas tendem a gerar uma maior quantidade de resíduos madeireiros, tanto da construção civil, quanto de podas e de outros resíduos de biomassas.

Figura 6. Rotas de captação de resíduos de cidades próximas.



5.2. Custos de Instalação

Para que fosse possível dimensionar o custo aproximado da instalação da Central de Biomassa no Polo Gesseiro do Araripe, algumas premissas foram adotadas:

- Produção média das empresas clientes: 2.000 toneladas de gesso/mês;
- Consumo de lenha médio mensal: 1.000 m³st ou 300 toneladas, considerando 1 m³st de lenha = 300 kg;
- 10 empresas clientes da central – resultando em uma compra mensal de 10.000 m³st de lenha picada necessária por mês.

→ Especificações técnicas do picador:

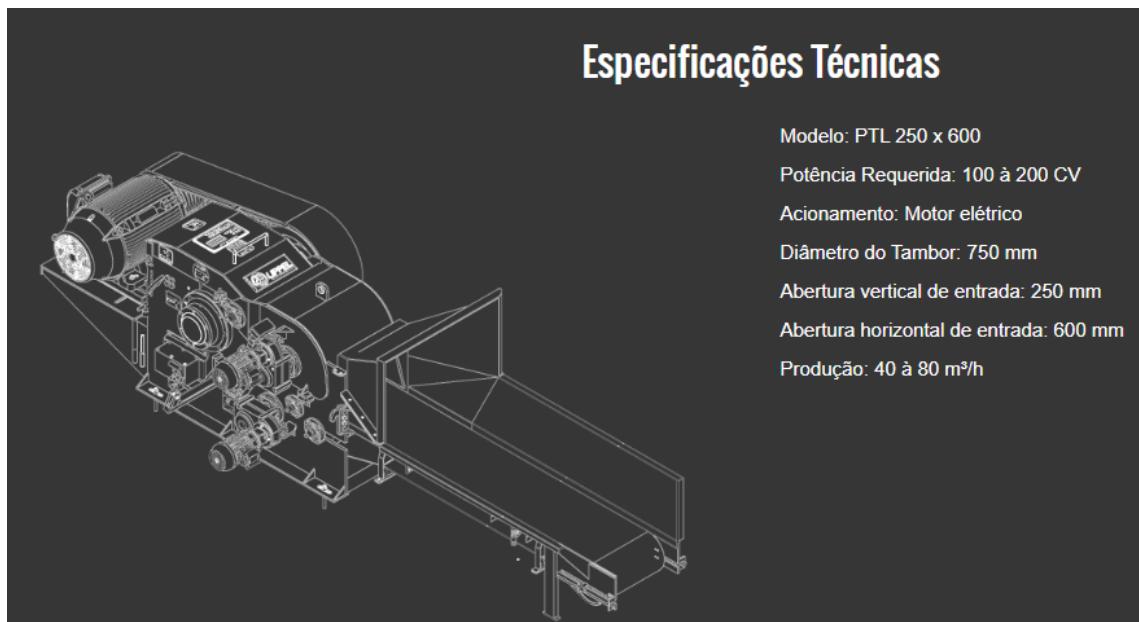


Figura 7. Equipamento de moagem.

Fonte: LIPPEL (2024).

A central deve investir inicialmente um valor de aproximadamente R\$ 2,3 milhões, a fim de custear todos os equipamentos e o local das instalações físicas necessários, conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2. Custos para estruturação de uma Central de Biomassa.

Equipamentos	Valor (R\$)
Local (terreno e instalações físicas)	800.000,00
Equipamento de moagem – Picador	400.000,00
Motor elétrico 100-200 cv	50.000,00
Painel elétrico	50.000,00
Esteiras de entrada e saída	70.000,00
Calha	10.000,00
Detector de metais e tambor magnético	30.000,00
Galpão	200.000,00
Balança rodoviária	150.000,00
Empilhadeira	120.000,00
Caminhão para transporte do cavaco	250.000,00
Montagem de escritório e gestão de operação	50.000,00
Engenharia e montagem da central	100.000,00
TOTAL	2.280.000,00

Fonte: Valores orçados junto a empresas fornecedoras de equipamentos, e serviços e valores de terreno de obra civil estimados

5.3. Custos Operacionais da Central de Biomassa

Os custos operacionais são calculados com base nos serviços e funções determinadas de acordo com a quantidade de funcionários necessários. As atividades incluídas na operação da CB abrangem o recebimento e armazenamento da lenha e/ou resíduos coletados, a manutenção e controle dos equipamentos, carregamento de caixas alimentadoras/esteiras, estocagem do material processado, e despacho desse material para as empresas clientes. Neste estudo, foram consideradas 10 empresas clientes da central como base de cálculo.

Em termos de mão de obra considerou-se a necessidade de três funcionários para uma CB operando durante 8 horas/dia, exclusivamente em dias úteis, sendo estipulado um custo de R\$ 4.236,00 total com mão de obra e encargos mensalmente.

Além disso, a central possui custo com energia elétrica visto que os equipamentos são acionados por motores elétricos. A potência total a ser instalada seria de 200 cv ou 150 kW, compreendendo todos os equipamentos citados. O consumo mensal está calculado em: 150 kW x 160 horas de funcionamento por mês,

totalizando 24.000 kWh/mês. Assumindo uma tarifa de R\$ 0,68, o custo total de uma Central de Biomassa com energia elétrica seria de R\$ 16.320,00.

Para os custos com manutenção admitiu-se um custo equivalente de 0,5% do valor total investido na CB, ou seja, R\$ 11.400,00.

5.4. Biomassa Utilizada e Seus Custos Associados

A madeira utilizada na CB pode ter origem na coleta de resíduos de construção civil, indústria moveleira, serrarias, podas frutíferas/florestais, cascas, paletes, entre outros. A princípio, a biomassa seria doada por empresas e entes governamentais, e desse modo o custo associado à esta matéria prima seria apenas de transporte rodoviário. Caso seja necessário comprar lenha em toras dos fornecedores locais para complementar a necessidade da CB, o custo médio da lenha considerado foi de R\$ 240,00 por tonelada.

O caso ideal seria o da Central de Biomassa operando apenas com madeira residual obtida 100% por meio de doações, reduzindo os custos associados a CB. No entanto, a baixa oferta de resíduos de madeira nas regiões próximas, somado a uma grande quantidade de viagens para transportar essa biomassa, necessidade de um grande estoque, área para descarga, entre outros fatores, limita essa possibilidade.

Outra hipótese seria a central operando somente com lenha bruta em toras, mas para isso seriam necessárias 3.000 toneladas de lenha por mês, totalizando um gasto de R\$ 720.000,00 mensalmente. Esse cenário é considerado como um caso extremo e com menor viabilidade, visto que, para que fosse economicamente viável, o custo da venda de lenha picada deveria ser superior ao custo de compra da lenha bruta em toras. Esse fator pode representar uma dificuldade pelo lado das empresas clientes da central.

Tendo em vista essas duas hipóteses, o presente estudo avalia diferentes cenários, mesclando o uso de lenhas em toras compradas de produtores em geral e os resíduos de madeiras obtidos de diversas procedências e gratuito. Foram avaliados cenários com diferentes porcentagens de resíduos coletados, a fim de estabelecer uma relação que fosse viável tanto para a Central de Biomassa, quanto para os clientes.

Quanto ao frete (ida e volta) para o transporte de madeira residual, foi considerado um caminhão com capacidade de até 20 t de resíduos, no qual o valor médio de transporte de ida e volta foi estipulado em R\$ 800,00. A Tabela 3 resume o valor associado ao transporte de acordo com a quantidade de resíduos.

Tabela 3. Valores mensais de frete para transporte do material residual para a Central de Biomassa.

% de Resíduos de madeira	Quantidade equivalente de resíduos (t)	Valor do transporte associado (R\$)	Quantidade de caminhões (viagens ida e volta)
20	600	24.000,00	30
30	900	36.000,00	45
40	1.200	48.000,00	60
50	1.500	60.000,00	75
60	1.800	72.000,00	90

5.5. Lenha Picada e Valor de Comercialização

O estudo avaliou cinco cenários distintos, alterando o valor de venda da lenha picada. Primeiramente, admitiu-se o valor de venda da lenha picada igual ao valor de compra de lenha em tora. Em seguida, foram considerados valores de venda 10% e 20% mais baixos, assim como 10% e 20% acima do valor de compra da lenha em tora. Todos os cenários para esses cálculos foram baseados na central atendendo 10 empresas.

6. Análise Técnica, Econômica e Financeira da Central de Biomassa

A Central de Biomassa foi dimensionada inicialmente para funcionar 8 horas/dia durante 20 dias no mês e atender um conjunto de 10 empresas. A produção média de cada empresa é de 2.000 toneladas de gesso por mês, com consumo específico de lenha de 0,5 m³ estéreo por tonelada de gesso. Nesse contexto, cada empresa consome em média 1.000 m³st/mês de lenha, equivalente a 6,25 m³st/hora. Considerando as 10 empresas, a central deve então produzir 62,5 m³st/hora de lenha picada.

Os valores e quantidades da matéria-prima das calcinadoras (gipsita) e o valor de venda do gesso calcinado são fixos, conforme dados fornecidos pelo SINDUSGESSO e SEBRAE-PE. Do mesmo modo, o valor de compra de lenha em toras é fixo em R\$ 72,00/m³st, alterando apenas o valor de venda da lenha picada, conforme descrito no tópico 5.5. Outro fator importante é com relação à quantidade de madeira residual a ser utilizada que, a fim de tornar o projeto viável, foi considerada como “doações”, ou seja, custo zero (exceto transporte).

A Tabela 4 apresenta os possíveis cenários para a Central de Biomassa, alterando a quantidade de madeira residual total para o funcionamento da CB. A tabela mostra resumidamente a análise econômica dos gastos e ganhos mensais da central, assim como o custo associado ao transporte de diferentes quantidades de resíduos de madeira e a quantidade de caminhões necessários no mês.

São analisados cinco cenários, considerando diferentes valores de venda para lenha picada. Nota-se que, ao diminuir o valor de venda da lenha picada em 20% (R\$ 57,60/m³) e 10% (R\$64,80/m³), somado ao baixo, ou nulo, volume de resíduos de lenha, a central possui um prejuízo, ocorrendo o mesmo quando o valor de venda da lenha picada é igual ao de compra da lenha bruta em toras (R\$ 72,00/m³st). Isso se deve aos custos operacionais mensais da CB serem iguais para todos os cenários, sendo as quantidades (em porcentagem) de resíduos de madeira e o valor de venda do produto final responsáveis por aumentar o lucro da central. Desse modo, quanto maior o valor de venda da lenha picada e a quantidade de resíduos de madeira, maior também serão os ganhos mensais.

Tabela 4. Análise econômica para a Central de Biomassa.

Valor de compra lenha bruta em toras		Valor de venda lenha picada		% de resíduos de madeira	Gastos operacionais mensais da CB R\$	Custo mensal com transportes R\$	Quantidade de caminhões por mês (viagens ida e volta)	Ganhos mensais R\$
R\$/m ³	R\$/t	R\$/m ³	R\$/t					
72,00	240,00	72,00	240,00	0	739.292,00	0,00	0	-19.292,00
				20	619.292,00	24.000,00	30	100.708,00
				40	499.292,00	48.000,00	60	220.708,00
				60	379.292,00	72.000,00	90	340.708,00
		57,60	192,00	0	739.292,00	0,00	0	-163.292,00
				20	619.292,00	24.000,00	30	-43.292,00
				40	499.292,00	48.000,00	60	76.708,00
				60	379.292,00	72.000,00	90	196.708,00
		64,80	216,00	0	739.292,00	0,00	0	-91.292,00
				20	619.292,00	24.000,00	30	28.708,00
				40	499.292,00	48.000,00	60	148.708,00
				60	379.292,00	72.000,00	90	268.708,00
		79,20	264,00	0	739.292,00	0,00	0	52.708,00
				20	619.292,00	24.000,00	30	172.708,00
				40	499.292,00	48.000,00	60	292.708,00
				60	379.292,00	72.000,00	90	412.708,00
		86,40	288,00	0	739.292,00	0,00	0	124.708,00
				20	619.292,00	24.000,00	30	244.708,00
				40	499.292,00	48.000,00	60	364.708,00
				60	379.292,00	72.000,00	90	484.708,00

O estudo limitou-se a 60% de resíduos de madeira (1.800 t), como descrito na Tabela 4, porque existe uma quantidade máxima ofertada desse material nas regiões próximas. Além disso, um alto volume de resíduos pode gerar problemas de logística de transporte, devido à alta demanda por fretes em caminhões.

Quanto à análise financeira do investimento para a instalação da Central de Biomassa, para elaborar os fluxos de caixa assumiu-se uma taxa de 8% de desconto anual, um valor base utilizado em financiamentos bancários para projetos semelhantes.

A partir da elaboração do fluxo de caixa é possível obter uma Taxa Interna de Retorno (TIR) atrativa para a CB. No entanto, é importante ressaltar que o empreendimento deve ser interessante tanto para a central, quanto para as empresas clientes, gerando resultados positivos para ambas.

Ao analisar a Tabela 5, nota-se uma TIR elevada de 228,81%, o que a princípio seria a melhor opção. No entanto, essa taxa elevada está associada a um alto valor de venda da lenha picada e de quantidade de resíduos. Esses são fatores que tornam a viabilidade deste cenário baixa, visto que, as empresas clientes não estariam dispostas a pagar por um valor 20% maior para compra de lenha picada, além de exigir uma alta quantidade de resíduos (1.800 t). Desse modo, a análise dos resultados das simulações se concentra nos cenários nos quais o valor de venda de lenha picada está abaixo ou até 10% maior que ao valor de compra de lenha bruta em toras e que utilize a menor quantidade possível de material residual. Para as simulações onde o tempo de *payback* foi maior que 5 anos, o projeto foi considerado inviável.

Tabela 5. Análise financeira para a Central de Biomassa.

Valor de compra lenha bruta em toras		Valor de venda lenha picada		% de resíduos de madeira	Payback Central de Biomassa			Análise Financeira
R\$/m ³	R\$/t	R\$/m ³	R\$/t		Anos	Meses	Dias	
72,00	240,00	72,00	240,00	0	Inviável			Inviável
				20	2	2	17	41,46%
				40	0	11	5	100,15%
				60	0	7	7	158,63%
		57,60	192,00	0	Inviável			Inviável
				20	Inviável			Inviável
				40	2	10	15	29,29%
				60	1	1	17	88,45%
		64,80	216,00	0	Inviável			Inviável
				20	Inviável			Inviável
				40	1	5	28	65,04%
				60	0	9	5	12,54%
79,20	264,00	79,20	264,00	0	4	5	5	15,89%
				20	1	2	13	76,75%
				40	0	8	12	135,24%
				60	0	6	29	193,72%
		86,40	288,00	0	1	8	11	53,30%
				20	0	10	2	111,85%
				40	0	7	23	170,33%
				60	0	5	2	228,81%

Assim, analisando inicialmente o cenário no qual o valor de compra de lenha bruta e venda de lenha picada são iguais (R\$ 72,00/m³), tem-se que ao utilizar 20% e 40% de resíduos, a central terá um prazo de retorno de aproximadamente 2 anos e 1 ano, respectivamente. Esses prazos, somados aos valores de TIR para ambos, demonstram a viabilidade do projeto, todavia o quadro que necessita de uma menor quantidade de resíduos é preferível neste caso.

Outra hipótese seria vender a lenha picada por valores 10% ou 20% mais baixos que o valor da lenha em toras. Nos dois casos seria necessário um grande volume de material residual, o que, por questões logísticas já comentadas, poderia ser um cenário não factível.

Por fim, existe outra hipótese onde a lenha picada é vendida por um valor 10% superior. Neste caso, todos os cenários a princípio se demonstram viáveis, porém a melhor opção seria a central operando com 20% de resíduos, pois além da TIR ser elevada e o tempo de retorno considerado baixo, haverá uma redução de custos. Ainda que o cliente (empresa consumidora) pague um valor maior pela compra de lenha, a economia de 25% ao se utilizar lenha picada, como apresentada no tópico 4, reduz a quantidade de biomassa necessária pelas calcinadoras, ou seja, se uma empresa possui um consumo médio mensal de lenha em toras de 1.000 m³st, ao se

utilizar lenha picada esse montante reduz para 750 m³st/mês, gerando uma economia de R\$ 12.600 mensalmente (comparando 1.000 m³st/mês a R\$ 72,00 e 750 m³st/mês a R\$ 79,20).

7. Empresas Clientes da Central de Biomassa

Para a análise dos clientes da central, considerou-se que todas utilizam fornos barriga quente, o tipo mais empregado na região, e uma produção média de 2.000 toneladas de gesso por mês. Os investimentos necessários para a adaptação dos fornos existente nas fábricas são referentes à aquisição de um sistema de caixas alimentadoras de lenha picada, esteiras, calhas e sistemas de controle de temperatura.

As empresas ao adotarem a lenha picada podem obter uma economia em até 25%, pois a queima da lenha picada ou processada traz consigo vantagens como:

- I) Economia de combustível;
- II) Maior estabilidade e controle na queima;
- III) Fabricação de produtos mais uniformes e com maior qualidade;
- IV) Redução de perdas na produção.

Por outro lado, as empresas clientes teriam um custo adicional com energia elétrica, estimado com base numa potência total para o sistema de alimentação/queimadores de aproximadamente 15 kW, operando 24 horas por dia durante 26 dias no mês. Logo, o consumo mensal seria de cerca de 9.360 kWh. Considerando a tarifa média de R\$ 0,68/kWh tem-se um aumento de R\$ 6.364,80/mês no gasto com energia elétrica.

7.1. Custo da Adequação para a Nova Alimentação de Biomassa Picada

As empresas clientes da Central de Biomassa necessitariam de um aporte financeiro inicial de cerca de R\$ 200.000,00 em equipamentos, a fim de se adaptarem ao uso de lenha picada.

7.2. Custo de Aquisição do Novo Combustível

O preço pelo qual a lenha picada será ofertada às empresas clientes é crucial para a viabilidade do projeto, de modo que, caso não seja disponibilizada por um valor atrativo, os empresários não estarão dispostos a investir na mudança do tipo de alimentação do combustível.

Vale ressaltar que o valor de venda da lenha picada deve ser interessante tanto para os clientes, quanto para a CB. A Tabela 6 a seguir apresenta uma simulação para os preços de venda de lenha picada utilizados ao longo deste estudo. Nota-se que os

valores variam em 10% e 20% para mais e para menos, com relação ao preço de compra da lenha em toras.

Tabela 6. Variação do preço de venda de lenha picada.

Valor de compra lenha bruta em toras		Valor de venda lenha picada		Relação entre o preço de compra e venda
R\$/m ³	R\$/t	R\$/m ³	R\$/t	
72,00	240,00	72,00	240,00	Mesmo valor
		57,60	192,00	20% menor
		64,80	216,00	10% menor
		79,20	264,00	10% maior
		86,40	288,00	20% maior

7.3. Adequação da Mão de Obra

As empresas ao fazerem o câmbio para o uso de lenha picada como combustível, além dos investimentos em novos equipamentos, precisariam capacitar seus funcionários para operar o novo sistema. Assim, para esta etapa não foi considerado um custo adicional com mão de obra.

8. Análise Técnica, Econômica e Financeira da Adequação dos Clientes da Central de Biomassa para Uso do Novo Combustível

Para análise, foram consideradas 10 empresas clientes, todas utilizando o forno modelo barriga quente, com uma produção média mensal de 2.000 toneladas de gesso e operando 24 horas/por dia durante 26 dias/mês. Como descrito no tópico 6, cada

empresa possui um consumo específico de lenha de 0,5 m³/t por tonelada de gesso logo, consome em média 1.000 m³/t/mês de lenha, equivalente a 300 t.

Inicialmente admitiu-se um investimento de R\$ 200.000,00 por parte de cada empresa para a adequação dos equipamentos. A Tabela 7 apresenta um resumo dos dados referentes à operação das empresas, descrevendo os custos e os ganhos.

Tabela 7. Análise econômica para os clientes da central.

Quantidade de empresas associadas a CB		10	Custo adicional																					
Consumo médio mensal m ³ de lenha por empresa		1.000	Energia elétrica																					
Investimento para adequação à lenha picada		R\$ 200.000,00	Mão de obra																					
Redução de perdas (mês)		R\$ 4.800	Manutenção																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Economia de lenha (25%)</th> </tr> <tr> <th>Valor de compra lenha em toras</th> <th>Valor de compra lenha picada</th> <th>Economia</th> </tr> <tr> <th>R\$/m³</th> <th>R\$/m³</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">72,00</td><td>72,00</td><td>R\$ 18.000,00</td></tr> <tr> <td>57,60</td><td>R\$ 28.800,00</td></tr> <tr> <td>64,80</td><td>R\$ 23.400,00</td></tr> <tr> <td>79,20</td><td>R\$ 12.600,00</td></tr> <tr> <td>86,40</td><td>R\$ 7.200,00</td></tr> </tbody> </table>					Economia de lenha (25%)			Valor de compra lenha em toras	Valor de compra lenha picada	Economia	R\$/m ³	R\$/m ³		72,00	72,00	R\$ 18.000,00	57,60	R\$ 28.800,00	64,80	R\$ 23.400,00	79,20	R\$ 12.600,00	86,40	R\$ 7.200,00
Economia de lenha (25%)																								
Valor de compra lenha em toras	Valor de compra lenha picada	Economia																						
R\$/m ³	R\$/m ³																							
72,00	72,00	R\$ 18.000,00																						
	57,60	R\$ 28.800,00																						
	64,80	R\$ 23.400,00																						
	79,20	R\$ 12.600,00																						
	86,40	R\$ 7.200,00																						
Valor de compra lenha picada	Custo adicional	Receita adicional	Ganho adicional																					
R\$/m ³	R\$/t	Total para 10 empresas																						
72,00	240,00	R\$ 103.768,00	R\$ 180.000,00	R\$ 76.232,00																				
57,60	192,00	R\$ 114.568,00	R\$ 288.000,00	R\$ 173.432,00																				
64,80	216,00	R\$ 109.168,00	R\$ 234.000,00	R\$ 124.832,00																				
79,20	264,00	R\$ 98.368,00	R\$ 126.000,00	R\$ 27.632,00																				
86,40	288,00	R\$ 92.968,00	R\$ 72.000,00	-R\$ 20.968,00																				

Os custos com energia elétrica, mão de obra, manutenção e gastos com compra de lenha picada foram classificados como “Custos adicionais”. O cálculo para energia elétrica foi realizado considerando uma potência total dos equipamentos de 15 kW, com o sistema operando 24 horas/dia e 26 dias/mês.

A economia gerada com o uso de lenha picada é proveniente de economia de lenha e diminuição de perdas. Esses ganhos econômicos são classificados como “Receita adicional” e possuem diferentes valores a depender do custo da compra de lenha picada.

A coluna de “Ganho adicional” varia de acordo com o valor de compra de lenha picada e é a diferença entre o custo e a receita. Nota-se que, para o cenário onde a

lenha é comprada por um valor 20% maior que o de mercado para a lenha em tora, não há ganho adicional de receita.

Assim como para a Central de Biomassa, também foi realizada uma análise financeira para as empresas clientes, assumindo uma taxa de desconto anual de 8%. A Tabela 8 descreve os cenários para diferentes valores de venda de lenha picada, avaliando o tempo de *payback* e a TIR para as empresas.

Tabela 8. Análise financeira para os clientes da central.

Valor de compra lenha bruta em toras		Valor de venda lenha picada		% de resíduos de madeira	Payback Empresas			Análise Financeira
R\$/m ³	R\$/t	R\$/m ³	R\$/t		Anos	Meses	Dias	
72,00	240,00	72,00	240,00	0	2	0	24	44,79%
				20				
				40				
				60				
		57,60	192,00	0	0	11	20	104,94%
				20				
				40				
				60				
		64,80	216,00	0	1	3	23	74,93%
				20				
				40				
				60				
		79,20	264,00	0	5	3	26	11,43%
				20				
				40				
				60				
		86,40	288,00	0	Inviável			Inviável

Ao examinar a Tabela 8, constata-se que um aumento de 20% no preço da lenha picada torna o projeto economicamente inviável. Além disso, a Taxa Interna de Retorno associada à venda da lenha picada a R\$ 79,20/m³ é inferior às demais e implica em um período de recuperação do investimento superior a 5 anos, o que também inviabiliza esse cenário.

Outras taxas analisadas são consideradas plausíveis, contudo, a viabilidade integral do projeto depende de uma TIR para os potenciais clientes que seja comparável àquela encontrada para a Central de Biomassa.

9. Análise Técnica, Econômica e Financeira do Conjunto Central de Biomassa e Empresas Associadas

Como explicitado anteriormente, o projeto depende de um cenário onde não é necessária uma grande quantidade de resíduos e a TIR para as empresas e para a CB deve ser próxima, de modo que ambos os empreendimentos possam obter ganhos com baixos prazos de retorno. A tabela a seguir faz um compilado de todos os cenários tanto para a central, quanto para as empresas clientes, a fim de facilitar identificar o melhor quadro.

Tabela 9. Avaliação conjunta para a Central de Biomassa e Empresas Clientes.

Valor de compra lenha bruta em toras		Valor de venda lenha picada		% de resíduos de madeira	Payback Central de Biomassa	Payback Empresas	Análise financeira CB x Empresas clientes		
R\$/m ³	R\$/t	R\$/m ³	R\$/t		Anos	Anos	VPL do conjunto	TIR - Central	TIR - Clientes
72,00	72,00	240,00	0	Inviável	1,98	1,98	Negativo - Prejuízo	Inviável	44,79%
			20	2,13			Positivo - Lucro	41,46%	
			40	0,93			Positivo - Lucro	100,15%	
			60	0,60			Positivo - Lucro	158,63%	
	57,60	192,00	0	Inviável	0,89	0,89	Negativo - Prejuízo	Inviável	104,94%
			20	Inviável			Negativo - Prejuízo	Inviável	
			40	2,87			Positivo - Lucro	29,29%	
			60	1,05			Positivo - Lucro	88,45%	
	64,80	216,00	0	Inviável	1,23	1,23	Negativo - Prejuízo	Inviável	74,93%
			20	Inviável			Negativo - Prejuízo	Inviável	
			40	1,41			Positivo - Lucro	65,04%	
			60	0,76			Positivo - Lucro	12,54%	
	79,20	264,00	0	4,43	5,24	5,24	Positivo - Lucro	15,89%	11,43%
			20	1,20			Positivo - Lucro	76,75%	
			40	0,70			Positivo - Lucro	135,24%	
			60	0,50			Positivo - Lucro	193,72%	
	86,40	288,00	0	1,7	Inviável	Inviável	Negativo - Prejuízo	53,30%	Inviável
			20	0,84			Negativo - Prejuízo	111,85%	
			40	0,56			Negativo - Prejuízo	170,33%	
			60	0,42			Negativo - Prejuízo	228,81%	

Analizando todos os casos, conclui-se que para o conjunto Central de Biomassa e empresas clientes, o cenário destacado na Tabela 9, no qual a lenha picada é vendida pelo mesmo preço que o valor de compra de lenha em tora, utilizando 20% de madeira residual é a situação ideal. Além dos fatores citados, o tempo de *payback* para ambos é baixo e a Taxa Interna de Retorno para a central é próxima da taxa para as empresas, sendo 41,46% e 44,79%, respectivamente.

Mantendo o valor de compra de lenha picada em R\$ 72,00/m³, as simulações demonstram a viabilidade do projeto para outros volumes de material residual, no entanto a necessidade de uma grande quantidade de resíduos e a dificuldade de

conseguir esse material na região torna essas opções inviáveis para este estudo. Este cenário se repete quando se considera a venda de lenha picada com valores 10% ou 20% abaixo, explicando a exclusão dessas premissas para o presente estudo.

Por fim, caso a lenha picada fosse vendida a R\$ 79,20/m³, um valor 10% acima do preço de compra de lenha em tora, para todas as hipóteses o tempo de *payback* para as empresas seria maior que 5 anos, circunstância que torna esse cenário inviável.

10. Considerações Finais

O Arranjo Produtivo Local (APL) do polo gesseiro no Araripe, Pernambuco, é responsável por 95% da produção nacional de gesso. A calcinação, etapa chave do processo produtivo, possui um alto consumo energético, utilizando principalmente lenha proveniente de recursos naturais locais. A busca intensiva por lenha, às vezes de forma irregular, resulta em impactos ambientais graves como desertificação, perda de biodiversidade e alterações nos microclimas.

Para reduzir os impactos da extração de lenha é crucial adotar medidas de eficiência energética. Uma estratégia eficaz é utilizar lenha picada nos fornos, visto que seu uso promove uma maior estabilidade e controle da combustão. Para isso, a Central de Biomassa aqui avaliada poderia adquirir lenha em toras e processá-la junto com resíduos de madeira, comercializando o material processado misturado. Além de atenuar os impactos ambientais ocasionados pela exploração e uso intenso da lenha, o uso de biomassa picada pode gerar economia para os produtores.

A análise de diversos cenários e simulações possibilitaram a escolha do quadro mais viável, considerando ganhos positivos tanto para a Central de Biomassa que processaria um grande volume de biomassa, quanto para as empresas clientes/calcinadoras. Essa central foi idealizada para atender 10 empresas clientes, cada com uma produção mensal média de 2.000 toneladas de gesso e utilizam forno do tipo “barriga quente”. Atualmente, a lenha é comprada por R\$ 240,00/t e, considerando um consumo médio de 300 t de lenha/mês/empresa, o gasto mensal apenas com lenha é de R\$ 72.000,00.

Após as simulações, concluiu-se que o melhor cenário seria da central vendendo lenha picada a R\$ 240,00/t e utilizando 20% de resíduos. Nesse caso, tanto a central quanto as empresas clientes possuem um tempo de *payback* de cerca de 2 anos e uma TIR de 41,46% e 44,49%, respectivamente. Verifica-se que o valor final de venda de lenha picada é igual ao preço de compra de lenha em toras, entretanto, ainda haveria uma economia do produtor com compra de lenha, pois a quantidade de lenha picada, para uma mesma quantidade de gesso, seria 25% menor quando comparado com a lenha em toras. Para produzir 2.000 toneladas de gesso são necessárias 1.000 m³st de

lenha em toras, o que equivale a 750 m³st de lenha picada logo, o uso de lenha picada gera uma economia de R\$ 18.000,00 por mês.

Considerando a presença de 185 calcinadoras na região e um consumo anual de cerca de 2,22 milhões de m³st de lenha, o que equivale a 475 mil toneladas de matéria seca, a adoção de lenha picada por parte de todas as empresas poderia, teoricamente, reduzir em 25% a lenha total atualmente utilizada, montante equivalente a cerca de 9.250 hectares, ou cerca de 15.400 campos de futebol, caso toda essa lenha fosse proveniente mata nativa da Caatinga.

Outros estudos podem ser conduzidos variando o número de empresas participantes, entretanto, nesse caso deve-se considerar a quantidade de lenha picada e de resíduos de madeira que serão necessárias, atentando-se para a disponibilidade local.

Em suma, a implementação da Central de Biomassa no Polo Gesseiro do Araripe representa uma alternativa promissora para a melhoria da sustentabilidade ambiental, eficiência energética e competitividade econômica das empresas calcinadoras. O estudo fornece um apanhado de informações úteis que podem orientar a tomada de decisão e a implementação de um projeto inovador na região.

11. Referências Bibliográficas

CEPIS – Centro de Produção Industrial Sustentável. Relatório da Assistência Técnica: Empresa Gesso Aliança Trindade/PE. **Projeto Eficiência Energética e Produção Mais Limpa da Cadeia Produtiva do Gesso**. Campina Grande, PB. 2016, 39 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2019). **Eucalipto: Perguntas e Respostas**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/eucalipto/perguntas-e-respostas>>. Acesso em: 04 jul. 2024.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Eficiência Energética**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>>. Acesso em: 04 jul. 2024.

HENRIQUES JR, M. F. Potencial de financiamento de eficiência energética: nos setores de cerâmica e gesso no Nordeste. **Banco Interamericano de Desenvolvimento / IDB Monographs**: Olga Cafalcchio, 2013. 169 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023). **Valor de produção da silvicultura e da extração vegetal cresce 11,9% e atinge recorde de R\$ 33,7 bilhões**. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37963-valor-de-producao-da-silvicultura-e-da-extracao-vegetal-cresce-11-9-e-atinge-recorde-de-r-33-7-bilhoes>>. Acesso em: 04 jul. 2024.

LIPPEL (2023). Disponível em: <<https://www.lippel.com.br/>>. Acesso em: 22 dez. 2023.

LIPPEL (2024). **Picador a Tambor PTL 250x600**. Disponível em: <<https://www.lippel.com.br/picadores-industriais-de-madeira/picador-a-tambor-ptl-250x600/>>. Acesso em: 04 jul. 2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (Brasil). **Biomassa para energia no Nordeste: atualidade e perspectivas**. Brasília, DF: Biblioteca Ministério do Meio Ambiente, 2018. 161 p.

NDAGIJIMANA, C.; PAREYN, F.G.C.; RIEGELHAUPT, E. Uso do solo e desmatamento da Caatinga: um estudo de caso na Paraíba e no Ceará – Brasil. **Estatística Florestal da Caatinga**. v. 2, n. 2, p. 18-29, 2015.

RIBASKI, J., DRUMOND, M. A., OLIVEIRA, V. R., NASCIMENTO, C. E. S. Algaroba (*Prosopis juliflora*): Árvore de Uso Múltiplo para a Região Semiárida Brasileira. **Comunicado Técnico, 240**, 8 p., 2009.

SEBRAE - PE. **Cadeia Produtiva do Gesso na Região da Chapada do Araripe**. Recife, 2019. 33 p.

SINDUSGESSO. Uma Agenda Positiva para o Polo Gesseiro no Sertão de Pernambuco. **4ª Reunião Setorial do SINDUSGESSO e 8ª Reunião do Conselho Empresarial do Sistema Indústria**, Pernambuco, 2023, 41 p.