

MANUAL DA ESCOLHA DA BIOMASSA COMBUSTÍVEL EM INDÚSTRIAS DE CERÂMICA VERMELHA NO NORDESTE



PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA



MANUAL DA ESCOLHA DA BIOMASSA COMBUSTÍVEL EM INDÚSTRIAS DE CERÂMICA VERMELHA NO NORDESTE

Rio de Janeiro - Brasil
Agosto | 2016



Este manual é dedicado em memória do Engenheiro Florestal ***Newton Duque Estrada Barcellos***, pelos relevantes serviços prestados no incentivo ao aumento da oferta e ao uso da biomassa renovável pelas indústrias de cerâmica vermelha.

| Instituição Executora

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC)

Ministro: Gilberto Kassab

Instituto Nacional de Tecnologia (INT)

Diretor Geral: Fernando Cosme Rizzo Assunção

Coordenação de Tecnologias Aplicadas

Coordenador: Antônio Souto de Siqueira Filho

Divisão de Energia

chefe: Maurício Francisco Henriques Júnior

| Co-execução

Fundação de Ciência. Aplicações e Tecnologias Espaciais (FUNCATE)

Programa de Eficiência Energética na Indústria de Cerâmica Vermelha - Projeto - EELA

Coordenador: Joaquim Augusto Pinto Rodrigues

| Cooperação Internacional

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE)

Swiss Foundation for Technical Cooperation (Swisscontact)

| Autores

Frans Pareyn

Enrique Riegelhaupt

Julia Santos Nunes de Campos

Marcia Carla Ribeiro de Oliveira

| Revisão

Marcelo Rousseau Valença Schwob

Vinicius Bernardo Vedovi

| Coordenação

Joaquim Augusto Pinto Rodrigues

Maurício Francisco Henriques Jr.

| Diagramação e Capa

Jeferson Toledo Barros (Nostromo Design Gráfico)

Manual para escolha da Biomassa Combustível em Indústrias de Cerâmica Vermelha no Nordeste 1ª edição / Frans Pareyn *et al.*

Rio de Janeiro: INT/MCTIC, 2016. 60p.

ISBN 978-85-99465-12-7

1. Cerâmica vermelha, 2. Eficiência energética, 3. Biomassa

SUMÁRIO

1.	Introdução	9
2.	Uso da biomassa no setor cerâmico	11
3.	Tipos de biomassa combustível disponíveis	12
3.1	Lenha	12
3.2	Resíduos	15
4.	Combustão	17
5.	Propriedades da biomassa	20
6.	CrITÉrios para seleÇão do tipo de biomassa	25
a.	Reduzir custos de operaÇão na cerâmica	25
b.	Atender as demandas térmicas de certos fornos	25
c.	Reduzir o consumo específico de combustível	26
d.	Cumprir com as normas legais e ambientais	28
e.	Aumentar a sustentabilidade da empresa	30
f.	Minimizar os impactos ambientais negativos da atividade	31
7.	Cálculo do custo da biomassa	32
8.	Análise detalhada dos custos de combustível	33
a.	Compra e transporte	33
b.	Estocagem e manuseio	37
c.	Beneficiamento	38
d.	AlimentaÇão aos fornos	40
9.	AdaptaÇão das biomassas aos fornos	42
10.	OrganizaÇão do fornecimento	44
11.	Qual a melhor biomassa para minha empresa ?	48
12.	Bibliografia	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo de biomassa estimado para o setor da região Nordeste, no ano de 2012	11
Tabela 2 – Propriedades das lenhas mais utilizadas no Nordeste	20
Tabela 3 – Propriedades de outras biomassas utilizadas pelo setor no Nordeste ..	21
Tabela 4 – Disponibilidade das lenhas mais utilizadas no Nordeste	24
Tabela 5 – Disponibilidade de outras biomassas utilizadas pelo setor no Nordeste ..	24
Tabela 6 – Comparativo entre custo de energia de diversas fontes	30
Tabela 7 – Preço de biomassa combustível “posto na industria”, 2015(R\$/st)	36
Tabela 8 – Preço de biomassa combustível “posto na industria”, 2015(R\$/tMS) ...	36
Tabela 9 – Tipo de combustível em função do tipo de forno e do produto	42
Tabela 10 – Critério A	49
Tabela 11 – Critério B	50
Tabela 12 – Critério C	51
Tabela 13 – Critério D.....	51

Anexos

Anexo 1. Tabela de resumo das biomassas e sua aplicabilidade	57
Anexo 2. Tabela resumo de possibilidades de biomassas por região e por tipo de forno	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Lenha de caatinga em talhão de manejo	13
Figura 2 – Lenha de plantio de eucalipto	13
Figura 3 – Lenha de povoamento de algaroba espontânea	14
Figura 4 – Lenha de poda de caju	14
Figura 5 – Bucha de coco como biomassa combustível	15
Figura 6 – Resíduos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar	15
Figura 7 – Sarrafos de madeira como biomassa combustível em cerâmica	16
Figura 8 – Resíduos de construção utilizado como combustível cerâmica	16
Figura 9 – Esquema de combustão	17
Figura 10 – Processo de transformação da energia química em calor	17
Figura 11 – A energia contida na fuligem jogada na atmosfera pelo mau aproveitamento da queima é dinheiro!	18
Figura 12 – Representação de um metro estéreo	20
Figura 13 – Lenha nativa	22
Figura 14 – Lenha de cajueiro	22
Figura 15 – Lenha de algaroba	22
Figura 16 – Lenha de eucalipto	22
Figura 17 – Distribuição das lenhas e outras biomassas relevantes para utilização em escala industrial no Nordeste	23
Figura 18 – Combustão e tamanho do combustível	27
Figura 19 – Classificação dos biomassa de acordo com sua legalidade e sustentabilidade	29
Figura 20 – Custo do frete de lenha no estado de Pernambuco por carrada em função da distância percorrida	34
Figura 21 – Custo do frete de lenha no estado de Pernambuco por metro estéreo em função da distância percorrida	35
Figura 22 – Custo do frete de lenha no estado de Pernambuco por tonelada de matéria seca em função da distância percorrida	35
Figura 23 – Pellets	39
Figura 24 – Briquetes	39
Figura 25 – Caixa alimentador de biomassa	41
Figura 26 – Picador utilizado na CLR	46
Figura 27 – Material residual a ser processado	46
Figura 28 – Cavaco produzido na CLR	46

ACRÔNIMOS

INT	Instituto Nacional de Tecnologia
MCTIC	Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
GEE	Gases de Efeito Estufa
MS	Matéria Seca
cal	Caloria
kcal	Quilocaloria
USD	Dólares dos Estados Unidos
APP	Área de Preservação Permanente
mst	Metro estéreo de lenha empilhada (1 x 1 x 1m)
COSUDE	Agência Suíça de Cooperação Internacional
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SFB	Serviço Florestal Brasileiro
MMA	Ministério do Meio Ambiente
ANICER	Associação Nacional da Indústria de Cerâmica
DOF	Documento de Origem Florestal
PC	Poder calorífico
NE	Nordeste do Brasil
PMFS	Plano de Manejo Florestal Sustentável
Óleo BPF	Óleo de baixo ponto de fluidez, óleo combustível pesado
C	Carbono
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
t	tonelada



1 | Introdução

O Programa Eficiência Energética na Indústria de Cerâmica Vermelha (EELA) visa contribuir no combate às mudanças climáticas através da redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes das indústrias de cerâmica vermelha da América Latina e contribuir com a melhoria da qualidade de vida da população envolvida. É financiado pela Agência Suíça de Cooperação Internacional (COSUDE) e executado pela Swisscontact junto aos seus parceiros em sete países: México, Colômbia, Equador, Peru, Bolívia, Argentina e Brasil.

No Brasil, a coordenação do programa está a cargo do Instituto Nacional de Tecnologia (INT), do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), e conta com a parceria de diversos agentes, dentre os quais: Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), Serviço Florestal Brasileiro (SFB/MMA) e Associação Nacional da Indústria Cerâmica (Anicer), entre outros.

Este manual faz parte de uma série que visa informar o empresário do setor de Cerâmica Vermelha, na intenção de fomentar uma indústria mais competitiva e sustentável ambiental, econômica e socialmente. Espera-se que esse conjunto de ferramentas contribua nas tomadas de decisão de cada empresa no tocante a tecnologias de queima, eficiência energética e impactos ambientais.

Os seguintes materiais estão disponíveis:

- Manual de eficiência energética na indústria de cerâmica vermelha, 2ª edição (EELA/INT, 2015);
- Manual de fornos eficientes para a indústria de cerâmica vermelha, 2ª edição (EELA/INT, 2015);
- Folder: “Escolhendo seu combustível - oferta de biomassa renovável para os pólos cerâmicos do Nordeste do Brasil”. (EELA/INT, 2015);
- Manual de licenciamento ambiental para a indústria de cerâmica vermelha no Nordeste (EELA/INT, 2016);
- Manual de uso eficiente da energia elétrica em indústrias de cerâmica vermelha (EELA/INT, 2016)
- Manual de eficiência energética no processo de secagem para a indústria de cerâmica vermelha (EELA/INT, 2016).

Este manual objetiva fornecer informações sobre disponibilidade, sustentabilidade, preços de compra, rendimento e adequação dos diferentes tipos de biomassa, para que as empresas cerâmicas possam tomar decisões de compra e de uso, visando reduzir seus custos operacionais com combustíveis, garantir suprimento estável e de qualidade controlada, aumentar a qualidade dos produtos e a produtividade dos fornos, cumprir as exigências dos órgãos ambientais com maior facilidade e estabelecer logística de aquisição, estocagem e manuseio de biomassa para fins energéticos.

Para tanto, seis blocos são apresentados, iniciando-se com a função e a importância da biomassa combustível na cerâmica vermelha, passando para os combustíveis alternativos que podem substituir a biomassa. Após, outros tópicos como secagem, estocagem, alimentação, emissões, adequações aos tipos de fornos, mercado e legalidade são abordados.

O emprego de biomassas renováveis minimiza as emissões de gases de efeito estufa (GEE), além de promover a adaptação a um contexto futuro onde poderão existir restrições ao uso de combustíveis que geram emissões.

2 | Uso de biomassa no setor cerâmico

A biomassa como fonte de energia térmica no setor cerâmico é largamente difundida e empregada pela grande maioria das empresas em todo país. A demanda de biomassa para o setor cerâmico no Nordeste foi estimada em, aproximadamente, 2.800.000 toneladas de matéria seca por ano (Tabela 1).

O uso em grande escala se dá pela acessibilidade de forma geral, pelo custo, se comparado com outras fontes de calor e por necessitar de equipamentos e instalações relativamente simples.

Por estes principais motivos, a biomassa é a primeira opção quando uma empresa cerâmica inicia suas atividades e continua sendo uma das opções preferidas em fábricas que possuem tecnologias mais complexas.

Somente algumas empresas, com capacidades de produção muito acima da média e com maior valor agregado, mudaram para combustíveis líquidos ou gás natural, considerando vantagens como reduzir custos de mão de obra, aumentar a qualidade dos produtos e/ou manter ritmos de produção estáveis, que compensariam o maior custo dos combustíveis fósseis.

Porém, a queima de combustíveis fósseis gera sempre emissões de GEE, um problema que pode ser evitado queimando biomassas sustentáveis e também alguns resíduos.

Tabela 1 – Consumo de biomassa estimado para o setor cerâmico da região Nordeste em 2012

Estados	Nº empresas	Consumo de biomassa tMS/ano ¹	%
Maranhão	91	164.152	5,8%
Piauí	123	207.411	7,4%
Ceará	412	751.572	26,6%
Rio Grande do Norte	186	332.878	11,8%
Paraíba	66	75.153	2,7%
Pernambuco	90	154.056	5,5%
Alagoas	70	92.287	3,3%
Sergipe	156	182.313	6,5%
Bahia	520	862.017	30,5%
Total	1.714	2.821.841	100,0%

Fonte: Panorama da indústria de cerâmica vermelha na região Nordeste do Brasil. INT/EELA, 2013

¹ Estimado por conversão de estéreos (mst) a toneladas de matéria seca (tMS). Fator de conversão: 0,235 tMS/mst.

3 | Tipos de biomassa combustível disponíveis

Para este manual, as **biomassas combustíveis** são definidas como “**todas as formas de matéria orgânica que podem ser queimadas em fornos cerâmicos para gerar calor**”. Não foram incluídos os aditivos orgânicos misturados com as argilas, que também podem fornecer energia calórica no processo de queima.

A função da biomassa combustível numa cerâmica é fornecer calor, tanto para sinterizar (“queimar”) os produtos nos fornos, como para secar as peças nos casos onde a secagem é artificial.

Muitos tipos de biomassa estão sendo usados atualmente e outros tipos poderão ser utilizados, dependendo de sua disponibilidade, custo e adaptação aos fornos e tecnologias de queima.

Por isso, utiliza-se o termo **biomassas atuais** - para as que já estão sendo empregadas e comercializadas - e **biomassas potenciais** - para as que ainda não são comercializadas ou ainda não chegaram a ser utilizadas na indústria cerâmica².

3.1 - Lenha

A lenha é a biomassa mais utilizada atualmente nas indústrias de cerâmica vermelha do Nordeste. As fontes expressivas de lenha são:

- 1 - **Florestas nativas** (caatinga³): obtém-se lenha por corte de árvores nativas da caatinga. Pode ser por duas vias:
 - **manejo florestal**: exploração florestal sustentável, quando o uso florestal do solo é mantido permanentemente e a floresta poderá ser cortada novamente depois de um certo número de anos. Nos Planos de Manejo Florestal Sustentável – PMFS, são gerados Documentos de Origem Florestal – DOF, que representam a licença obrigatória para o transporte de produtos e subprodutos de floresta nativa.
 - **desmatamento para mudança do uso do solo** (para agricultura, para pastagem, ou crescimento urbano): exploração florestal não sustentável, porque a floresta cortada é definitivamente eliminada. Se o desmatamento for previamente autorizado, pode gerar o Documento de Origem Florestal - DOF, permitindo assim, a comercialização. Se não for autorizado, a lenha obtida sem DOF é “ilegal”.

² Algumas formas de biomassa processada, como os briquetes, já são ofertadas no mercado, porém com preços altos, o que dificulta seu uso nas cerâmicas.

³ No Nordeste, há predominantemente dois biomas: Caatinga e Mata Atlântica. Nesse manual exclusivamente a lenha de Caatinga será abordada, uma vez que a legislação proíbe a exploração da Mata Atlântica. Os Cerrados do Nordeste podem ser tratados, para este tema, igualmente à caatinga.



Figura 1 - Lenha de caatinga em talhão de manejo

2 - **Plantios florestais:** a lenha é obtida por corte de árvores plantadas. No Nordeste, os mais conhecidos são os plantios de eucalipto nas partes úmidas e subúmidas (Zona da Mata, ou litoral). No sertão, também ocorrem ocasionalmente plantios de algaroba e de algumas espécies nativas (jurema preta, sabiá). Os plantios de bambu, ainda que não formados por árvores, são manejados do mesmo modo que plantios florestais e se enquadram nesta categoria. Por não serem originadas em florestas nativas, essas biomassas não requerem DOF.



Figura 2 - Lenha de plantio de eucalipto

3 - **Povoamentos espontâneos de espécies exóticas:** os exemplos mais típicos são povoamentos de algaroba no sertão e bambuzais espontâneos no litoral baiano. Geralmente sua exploração e uso são isentas de autorização por serem consideradas espécies exóticas⁴.



Figura 3 - Lenha de povoamento de algaroba espontânea

4 - **Podas:** aqui a lenha é obtida por corte de uma parte dos galhos ou ramos de árvores frutíferas e urbanas, as quais permanecem vivas. As mais conhecidas são as podas de cajueiros, mangueiras e árvores de sombra nas cidades e fazendas. Esta biomassa não requer DOF.



Figura 4 - Lenha de poda de caju

⁴ Só no Estado da Paraíba a exploração de algaroba requer autorização previa do órgão ambiental.

3.2 - Resíduos

são restos de biomassa, lenhosa ou fibrosa, originados em atividades agrícolas, empresas agroindustriais e indústria da construção. Os principais resíduos utilizados em cerâmica vermelha são:

- sarrafos, costaneiras, aparas e pó de serra das indústrias madeireiras;
- cascas (de caju, de coco, de babaçu, outras) obtidas nos locais de beneficiamento de frutas;
- bagaço de cana-de-açúcar, das usinas açucareiras e destilarias de álcool;
- palha da colheita mecanizada de cana-de-açúcar;
- resíduos da construção civil (estroncas, tábuas,....).



Figura 5 - bucha de coco como biomassa combustível



Figura 6 - Resíduos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar



Figura 7 - Sarrafos de madeira como biomassa combustível em cerâmica



Figura 8 - Resíduos de construção utilizado como combustível cerâmica

4| Combustão

Para se ter uma boa operação em um forno e produtos com qualidade, é importante ter uma boa combustão. Esse processo transforma a energia química da biomassa em calor (figura 10), este é transmitido para a carga processada (telhas, blocos e lajotas).

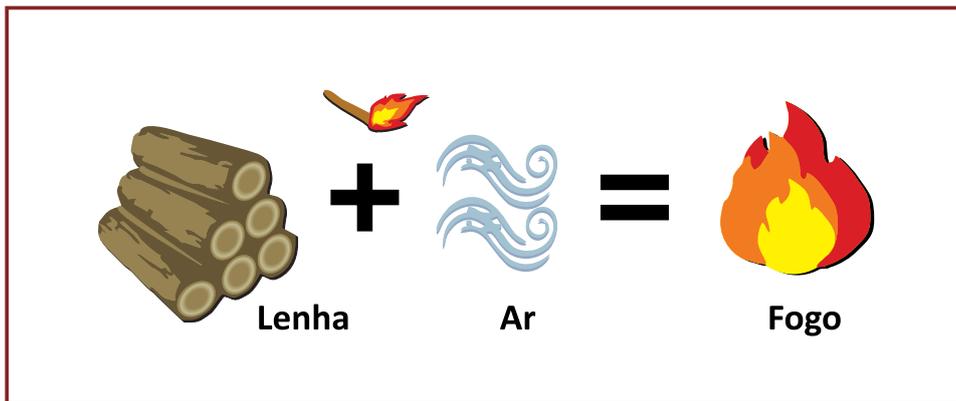


Figura 9 - Esquema de combustão

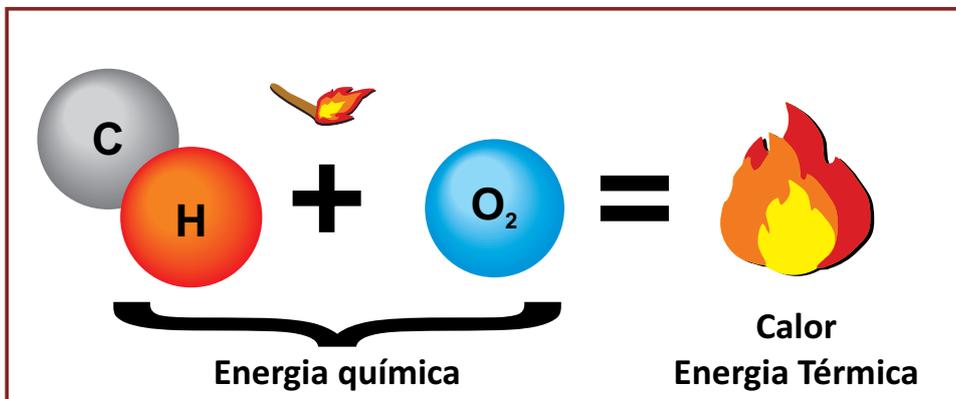


Figura 10 - Processo de transformação da energia química em calor

Uma boa combustão exige uma série de cuidados, mas deve partir de um correto dimensionamento das fornalhas ou câmaras de combustão (volume e forma da câmara, de acordo com o tipo de combustível e carga a ser processada).

Por exemplo, uma câmara de combustão muito pequena, alimentada com muita lenha, pode não receber ar suficiente para uma boa queima, e assim gerar muita fuligem e desperdício de energia.

Portanto, cada tipo de combustível (lenha, óleo ou gás) deveria implicar numa fornalha específica para se conseguir uma combustão bem conduzida e equilibrada (sem desperdício e sem fuligem).

O controle da queima também deve ser feito e o ideal seria realizá-lo através do monitoramento da quantidade de ar presente na combustão, mas como esse controle é difícil no dia a dia, o ideal é que se tenha uma alimentação contínua de combustível e observar a intensidade da radiação das chamas, e se há ou não produção de fuligem na chaminé.

Fuligem excessiva representa má combustão, ou seja, a energia presente no combustível não foi plenamente convertida em calor para produção de peças cerâmicas, resultando em perda de energia.

A alimentação contínua reduz as flutuações na combustão e garante um melhor aproveitamento do calor produzido na queima. Mediante este aproveitamento, economiza-se na despesa em biomassa combustível.



Figura 11 - A energia contida na fuligem jogada na atmosfera pelo mau aproveitamento da queima é dinheiro!

A queima no forno é a principal etapa do processo de fabricação de produtos cerâmicos em termos energéticos, envolvendo, em geral, mais de 95% de toda a energia térmica demandada pela empresa. Os 5% restantes referem-se à secagem naquelas empresas que fazem uso deste processo.

Além do correto dimensionamento das câmaras de combustão, do controle de combustão e da alimentação mais contínua possível, o emprego de ventiladores e o uso de lenha picada ou serragem podem ajudar bastante. Veremos mais sobre estes temas adiante.

5 | Propriedades da biomassa

As principais propriedades das biomassas relevantes para indústrias cerâmicas do Nordeste são resumidas nas tabelas a seguir, que apresentam um resumo das características e disponibilidades de biomassas que podem ser utilizadas em fornos cerâmicos.



Figura 12 - Representação de um metro estéreo

Tabela 2 – Propriedades das lenhas mais utilizadas no Nordeste

	Caatinga	Cajueiro	Algaroba	Eucalipto	
Peso seco do estéreo (kgMS/st)	240	247	287	303	
Peso verde do estéreo (kg/st)	280 a 320	450	380 a 430	500 a 600	
Umidade (%)	Inferior	10	40	20	40
	Superior	25	50	40	50
Poder calorífico básico (Kcal / kgMS)	4.600	4.500	4.600	4.500	
Poder calorífico de um estéreo (Kcal/st)	1.104.000	1.113.750	1.320.200	1.361.250	
Diâmetros comumente utilizados (cm)	Inferior	2	3	2	3
	Superior	30	60	40	15

Tabela 3 – Propriedades de outras biomassas utilizadas pelo setor no Nordeste

	Bambu	Pó de serra	Bagaço de Cana	Casca de Coco
Peso seco do estéreo (kgMS/st)	126	136	95	112
Peso verde do estéreo (kg/st)	210	160	190	150
Umidade (%)	40	15	50	25
Poder calorífico (Kcal / kgMS)	4.600	4.600	4.500	4.500
Poder calorífico de um estéreo (Kcal/st)	579.600	625.600	427.500	506.250
Diâmetros comumente utilizados (cm)	Inferior	5	0,1	5
	Superior	15	2	0,3

Pode se observar que o Poder Calorífico Básico (expresso em Kcal/kg com 0% de umidade) é praticamente igual em todos os tipos de biomassas, lenhas e resíduos.

As diferenças observadas na prática em termos de temperatura da fornalha, rendimento e consumo específico são devidas ao maior ou menor conteúdo de umidade da biomassa no momento de ser queimada, e também, ao peso seco do estéreo – que pode ser bem maior ou menor que o peso seco do estéreo de lenha de caatinga, utilizado como referência.

As lenhas “mais quentes”, que geram maiores temperaturas na fornalha, são as mais secas, de menor diâmetro e maior densidade.

Isso se dá porque as mais secas, com menor umidade, contém mais material combustível. As lenhas de menor diâmetro tem maior área de contato com o oxigênio presente no ar e podem queimar mais rapidamente, enquanto as de maior densidade contém maior peso por unidade de volume e por isso permitem manter maior massa de combustível no mesmo volume de fornalha.

Nos esquemas a seguir pode-se comparar a quantidade de calor liberada na combustão por um estéreo de lenha de Caatinga com as outras fontes de energia térmica citadas para produção de artigos cerâmicos.



Figura 13 - Lenha nativa



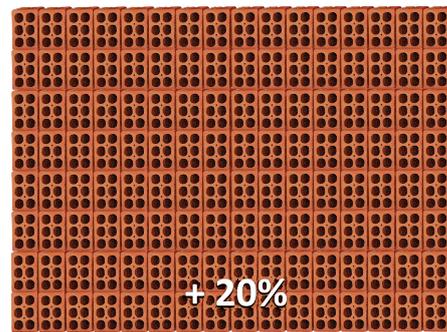
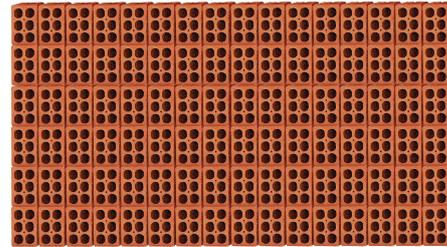
Figura 14 - Lenha de cajueiro



Figura 15 - Lenha de algaroba



Figura 16 - Lenha de eucalipto



Outra particularidade a influenciar o uso do combustível é a localização. No mapa a seguir (Figura 17) vemos a distribuição das lenhas e outras biomassas relevantes para utilização em escala industrial.

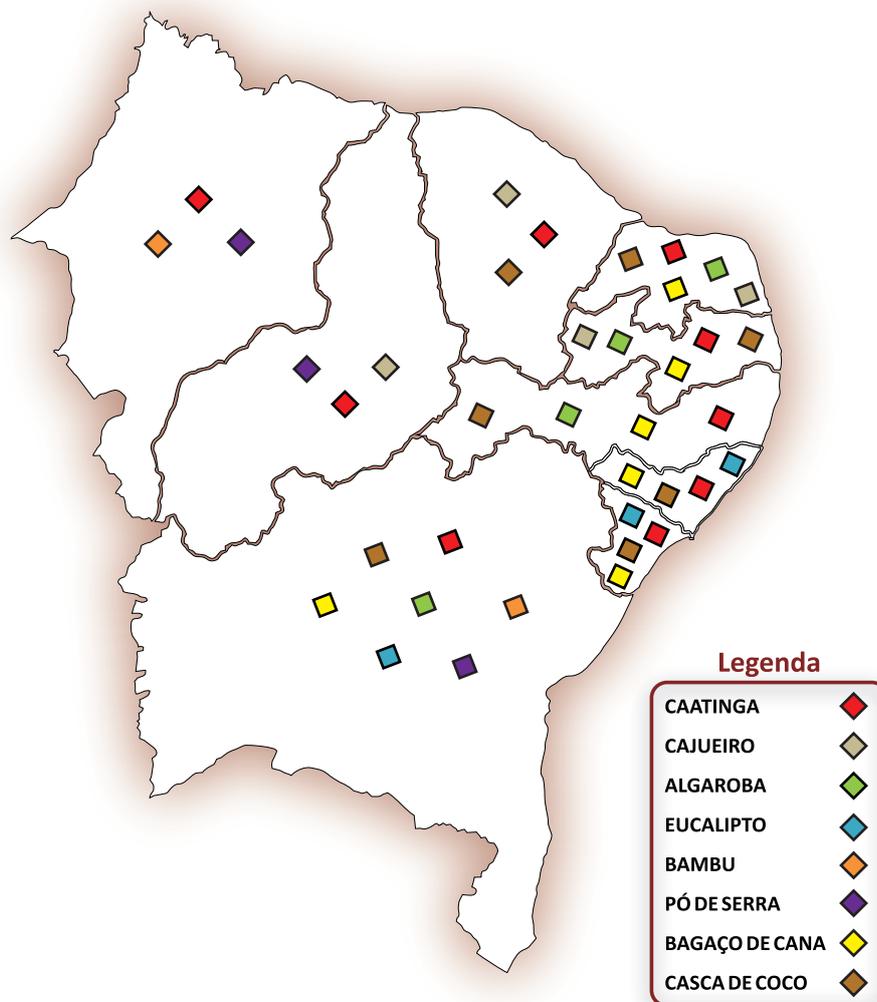


Figura 17 - Distribuição das lenhas e outras biomassas relevantes para utilização em escala industrial no Nordeste

O uso de gramíneas como combustível, em especial o Capim Elefante, já observado no norte de Minas Gerais, Sergipe e Alagoas, está sendo pesquisado. A Embrapa trabalha no momento na tecnologia de manejo e secagem deste cultivo de rápido crescimento⁵.

⁵ Mais informações com a Embrapa Tabuleiros Costeiros (Anderson Marafon: anderson.marafon@embrapa.br) ou com a Embrapa Gado de Leite (Juarez Campolina: juarez.machado@embrapa.br)

Nas tabelas a seguir encontram-se a oferta atual, bem como a disponibilidade potencial em milhões de estéreos por ano.

Tabela 4 – Disponibilidade das lenhas mais utilizadas no Nordeste

	Caatinga	Cajueiro	Algaroba	Eucalipto
Disponibilidade atual através de manejo florestal <i>(milhões de estéreos/ano)</i>	5	3,5	2	0,7
Disponibilidade potencial <i>(milhões de estéreos/ano)</i>	50	2,1	3	1,5

Tabela 5 – Disponibilidade de outras biomassas utilizadas pelo setor no Nordeste

	Bambu	Pó de serra	Bagaço de cana	Casca de coco	Palha de cana
Disponibilidade atual <i>(milhões st/ano)</i>	Pouca	Pouca	Variável	3,0	Pouca
Disponibilidade potencial <i>(milhões st/ano)</i>	Pouca	Pouca	Pouca	3,0	9,5

A disponibilidade efetiva de cada tipo de biomassa é uma questão local, que pode ser influenciada por muitos fatores próprios de cada região, polo ou município.

Dada a expressividade das fontes de manejo e de algarobais espontâneos, em parceria com o projeto, a Associação de Plantas do Nordeste disponibilizou no Centro Nordestino de Informações sobre Plantas as informações georreferenciadas destas duas fontes. Acesse!

Link para mapeamento dos Planos de Manejo Florestal Sustentáveis do Nordeste:

http://www.cnip.org.br/planos_manejo.html

Link para mapeamento das principais bacias de algarobais espontâneos do Nordeste:

<http://www.cnip.org.br/algarobais.html>

6 | Critérios para seleção do tipo de biomassa

Os critérios para a escolha de um ou outro tipo de biomassa podem ser muitos, e bastante diferentes entre si. Os principais motivos ou finalidades da escolha são:

- a. reduzir os custos de operação da cerâmica;
- b. atender as demandas térmicas dos fornos;
- c. reduzir o consumo específico de combustível;
- d. cumprir com as normas legais e ambientais;
- e. aumentar a sustentabilidade da empresa;
- f. minimizar os impactos ambientais negativos da atividade.

a. Reduzir custos de operação na cerâmica

Este é um objetivo permanente e fundamental para lograr a sustentabilidade econômica das empresas. É ainda mais relevante quando consideramos que na maioria dos casos esta despesa representa de 10 a 20% do custo de produção, daí a importância do seu controle. O cálculo do custo operacional por combustíveis será tratado no capítulo 7.

b. Atender as demandas térmicas de certos fornos

Nos fornos intermitentes - como paulistinhas, abóbadas, caieiras, etc - a queima é iniciada, finalizada e reiniciada posteriormente com outro lote; e a demanda térmica, ou seja, a quantidade de energia que deve ser liberada nas fornalhas a cada minuto, depende da etapa de queima.

Geralmente se diferenciam duas etapas de queima: o “esquento” e o “caldeio”. Às vezes, há uma terceira etapa no final do caldeio, chamada de “limpa”. No **esquento**, a **temperatura deve subir lentamente** e no **caldeio mais rapidamente** até que toda a carga do forno seja completamente “cozida” (sinterizada).

Para regular o aumento da temperatura, o operador (fornheiro) seleciona o tipo e a quantidade de combustível. No início, alimenta-se o forno com peças mais úmidas e grossas, e depois progressivamente, com material mais seco e fino, como a vazão de gases é quase constante, a temperatura dos gases na saída da fornalha é regulada pela velocidade de combustão (quilos de matéria seca queimados por minuto).

Nos fornos contínuos (Hoffman, câmaras, túnel, etc) a alimentação de combustível é mais regular e constante que nos fornos intermitentes. As distintas fases da queima são obtidas pela movimentação da carga (nos fornos tipo túnel) ou pelo avanço da *zona de queima* de uma câmara para a seguinte (nos fornos tipo câmara e Hoffman).

Mais informações sobre o processo de queima encontram-se disponíveis no Manual de Fornos Eficientes.

c. Reduzir o consumo específico de combustível

O consumo específico⁶ de combustível expressa a quantidade de combustível utilizada para produzir uma determinada quantidade de produtos.

É definido por:

$$\frac{\text{Quantidade de lenha utilizada}}{\text{Quantidade de produtos queimados}}$$

$$\frac{\text{Quilos de lenha}}{\text{Quilos de produto cerâmico}}$$

Geralmente a unidade utilizada para lenha é o estéreo, e para os produtos o número de milheiros. Porém, é necessário calcular em quilo de biomassa seca dividido por quilo de produto, porque o peso seco do estéreo de lenha é bastante variável (dependendo da espécie, a grossura, da umidade, etc) e porque o peso das peças também pode variar bastante (um milheiro de peças queimadas pode pesar de 2 a 4 toneladas, de acordo com a quantidade de massa e os materiais utilizados na sua fabricação).

Quanto menor o consumo específico de combustível, maior a eficiência energética e menor custo operacional da queima, já que se necessita menos combustível para queimar uma mesma quantidade de produtos.

As características dos combustíveis que influenciam no consumo específico são:

- Conteúdo de matéria seca - CMS;
- Teor de cinzas;
- Tamanho do combustível.

O conteúdo de matéria seca, como o nome já diz, expressa a quantidade de biomassa combustível, sem a água que a compõe.

É igual a 100% menos o percentual de umidade da lenha ou resíduo. Como todas as biomassas contem uma certa quantidade de umidade (de 8% até 50%) o CMS pode variar de 92% a 50%.

Já que umidade é água e não contribui para gerar energia, o CMS determina o poder calorífico efetivo ou líquido da biomassa⁷.

⁶ É importante lembrar que todos os índices relacionados a consumo de energia térmica na indústria de cerâmica vermelha variam, principalmente, de acordo com o forno utilizado, a biomassa utilizada, a massa do produto cerâmico e as características da argila empregada.

⁷ O poder calorífico efetivo ou "líquido" é tecnicamente chamado de Poder Calorífico Inferior (PCI). É a quantidade de calor liberada na combustão, considerando que os gases de exaustão tenham uma temperatura de 101 °C ou maior.

O CMS também ajuda a entender a velocidade de queima, visto que biomassas mais úmidas queimam mais devagar.

O **teor de cinzas** demonstra a presença de sais minerais, areia, ou terra na biomassa. Estes não são combustíveis e portanto reduzem o poder calorífico. Na maioria das biomassas este efeito não é muito expressivo pois o conteúdo de cinzas é baixo (de 1% a 5%).

O **tamanho do combustível** é altamente variável: peças miúdas como casquinhas de caju, fibras de bagaço ou cavacos podem pesar menos de um grama, porém peças grandes de lenha podem pesar cinquenta mil vezes mais (50 kg).

O tamanho da peça a ser queimada é o principal fator que determina a **velocidade de combustão**, que é o **tempo necessário para que o combustível entregue sua energia aos gases de combustão** (figura 18). A lenha em peças grandes pode demorar várias horas para queimar completamente, enquanto que a biomassa moída ou muito pequena queima em poucos segundos.

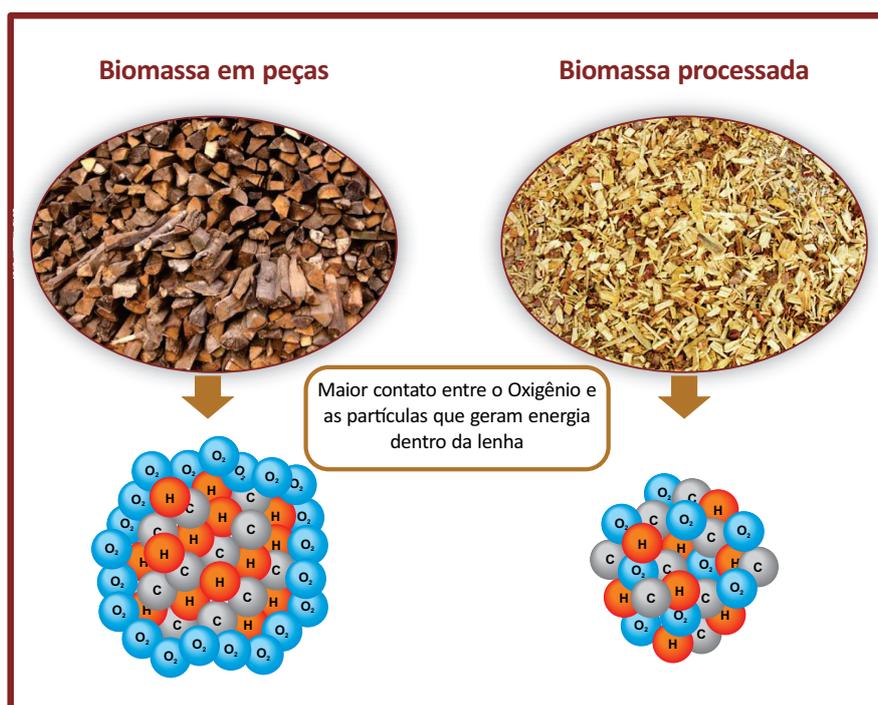


Figura 18 - Combustão e tamanho do combustível

A velocidade de combustão ideal depende do tipo de forno, do tipo de produto, da etapa da queima e do sistema de alimentação às fornalhas. Para cada situação e cada forno, distintas biomassas podem ser mais adequadas em termos de velocidade de combustão.

d. Cumprir com as normas legais e ambientais

As normas vigentes estabelecem que o uso de madeira originada em florestas nativas deve ser legalizado mediante:

**Autorização de exploração
(seja via manejo, ou por desmatamento autorizado);**

&

**Autorização para transporte, por emissão de Documento de Origem Florestal
(sendo exigido um DOF para cada carga transportada).**

Para consumir biomassa de outras origens (como árvores plantadas, espécies exóticas, frutíferas, resíduos, etc.), geralmente não é exigida autorização nem DOF⁸. A lenha nativa transportada sem DOF é considerada ilegal, e sujeita à apreensão, podendo comportar aplicação de multas e outras penalidades.

Vale salientar que os conceitos de “biomassa legal” e “biomassa sustentável” são diferentes e não equivalentes.

A legalidade não implica necessariamente na sustentabilidade de uma fonte de biomassa, assim como a sustentabilidade não confere automaticamente a legalidade.

Legalidade x Sustentabilidade

Uma classificação que considera a sustentabilidade e a legalidade das biomassas é resumida na figura 18. É importante levar em conta que esses conceitos têm significados diferentes e não são necessariamente correspondentes, uma vez que:

- A sustentabilidade requer a garantia de renovação do recurso aproveitado e da manutenção dos estoques de carbono a longo prazo;
- A legalidade requer somente cumprir as normas legais existentes no momento, a nível municipal, estadual e/ou federal.

Por definição, o uso de biomassa sustentável não causa emissões líquidas de GEE e poderia assim gerar créditos de carbono.

Porém, para emitir os certificados de redução de emissões, todos os sistemas de certificação exigem que a biomassa tenha origem legal, desconsiderando a biomassa não legalizada – ainda que esta seja sustentável.

De outra parte, existem fontes perfeitamente legalizadas de biomassa que não são sustentáveis e não podem, assim, gerar créditos de carbono.

⁸ No caso da Paraíba, a exploração de algarobais é sujeito a legislação estadual e necessita autorização prévia para exploração e transporte.

Legalidade x Sustentabilidade

	Illegais	Legais
Não Sustentável	<ul style="list-style-type: none">■ Lenha de desmatamentos (com mudança de uso do solo).	<ul style="list-style-type: none">■ Lenha de derrubada de árvores frutíferas caso não haja replantio;■ Lenha de cajú gigante substituído por cajú anão.
Sustentáveis	<ul style="list-style-type: none">■ Lenha nativa de cortes não autorizados, com pouso suficiente e sem mudança de uso do solo;■ Lenha obtida em reserva legal;■ Lenha de algaroba obtida dentro de APPs.	<ul style="list-style-type: none">✓ PMFS;✓ Eucalipto;✓ Algaroba - Fora de APPs;✓ Resíduos de biomassa/✓ Podas (se indivíduos persistentes)

Figura 19 - Classificação das biomassas de acordo com sua legalidade e sustentabilidade

No Brasil existe uma norma ambiental a nível federal, sobre emissões de gases e poluentes atmosféricos. Para o caso de fontes fixas, como as chaminés industriais, que queimam madeira e seus derivados, esta norma estabelece limites máximos de concentração de CO e de partículas nos gases da chaminé (Resolução CONAMA N° 382 de 26/12/2006).

A aplicabilidade desta norma nas indústrias cerâmicas ainda está em discussão. Já existe legislação ambiental a nível estadual que define limites de emissões de gases e particulados, como em Sergipe, onde é obrigatório o uso de lavadores de gases nas chaminés.

De modo geral, a queima de biomassa seca gera menores emissões de fuligem e de CO₂ e deve ser preferida para minimizar as emissões de particulados.

e. Aumentar a sustentabilidade da empresa

A base da sustentabilidade de uma empresa é sua rentabilidade, porque uma empresa que não gera lucro, desaparece.

Esse fato é a causa principal da biomassa, em particular a lenha, ter se mantido como o combustível preferido pelas cerâmicas, já que é o energético que gera menores despesas operacionais.

Muitas tentativas de mudar de biomassa para óleo BPF, gás natural, e até glicerina, fracassaram por causa do aumento dos custos operacionais atrelados a estes combustíveis. A tabela 6 apresenta o custo comparativo da energia fornecida por biomassa e combustíveis fósseis, levando-se em consideração as quilocalorias geradas, não somente a unidade comercializada.

Tabela 6 – Comparativo entre custos de energia de diversas fontes - novembro de 2015

Fonte energética	Unidade	Custo / unidade	Peso da unidade (t/unidade)	Conteúdo energético (milhão kcal/t)	Custo da energia (R\$/milhão kcal)
Poda de caju	st	R\$30,00	0,24	4,5	R\$28,00
Bambu	st	R\$30,00	0,20	4,5	R\$33,00
Lenha de algaroba	st	R\$50,00	0,28	4,6	R\$38,00
Lenha de caatinga (PMFS)	st	R\$38,00	0,20	2,3	R\$41,00
Bagaço de cana	t	R\$100,00	1,00	4,5	R\$43,00
Lenha de eucalipto	st	R\$70,00	0,33	4,5	R\$47,00
Óleo BPF	t	R\$1.400,00	1,00	10,0	R\$140,00
Gás Natural	M ³	R\$1,30	-	9,0	R\$144,00

Em cada polo cerâmico existem diversas opções de biomassas, e também os preços relativos e disponibilidades podem ser diferentes em cada local.

A escolha correta de uma mistura de tipos e fontes de biomassa pode ajudar a ter um fornecimento constante com o mínimo custo final e evitar o risco de exaurir algumas destas fontes de biomassa.

Assegurar o fornecimento de biomassa combustível a longo prazo é também uma questão de sustentabilidade, porque todos os investimentos e desenvolvimentos de uma empresa podem ser inúteis, caso se perca o acesso a combustíveis economicamente viáveis.

f. Minimizar os impactos ambientais negativos da atividade

Quando a lenha nativa não é obtida de manejo florestal sustentável, seu uso pelas indústrias pode gerar dois impactos ambientais negativos: o desmatamento e/ou a degradação da cobertura florestal nativa.

Contudo, é importante notar que os mesmos impactos são gerados também por outras atividades produtivas, como a agricultura e a pecuária. De fato, muitas atividades agropecuárias afetam áreas extensas, com alta intensidade. Assim, fica difícil identificar quais são as causas do desmatamento e da degradação de florestas numa região específica, já que estas podem ser resultado da agricultura, da pecuária, do consumo de lenha por indústrias ou ainda de uma combinação destas e outras atividades.

Na região Nordeste existem evidências claras e consistentes de que a cobertura florestal nativa dentro do Bioma Caatinga se manteve em torno de 48% e 51% durante os últimos 30 anos (de 1980 a 2010). Esta estabilidade é resultado da diminuição das atividades agrícolas e do aumento de outros usos do solo como a pecuária. Por esta razão, em certas áreas a cobertura florestal aumentou, enquanto que em outras áreas diminuiu.

No que diz respeito à degradação de florestas nativas, não há dados, e como este é um processo dinâmico, pode avançar ou regredir dependendo das taxas de extração e de crescimento de cada área florestal.

Contudo, é inegável que o uso de biomassas não renováveis (como a lenha de desmatamento) gera emissões diretas de CO₂, pela redução dos estoques de carbono orgânico contidos nos solos e na vegetação das áreas desmatadas ou degradadas.

Considerando os compromissos do Brasil de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e mitigar de forma significativa a degradação das florestas é importante que, além do setor agropecuário, as indústrias cerâmicas adotem práticas responsáveis para minimizar o risco de causar desmatamento e degradação florestal pelo consumo de biomassa não renovável.

7 | Cálculo do custo da biomassa

Um dos critérios mais importantes para escolher a biomassa certa é o seu custo, visando obter o menor custo final de combustível por unidade de produto.

Para calcular o custo unitário final de uma forma simples, é necessário levantar previamente, para cada produto e cada tipo de forno da empresa, os seguintes dados:

- o consumo de combustível por cada fornada (pode ser expresso em estéreos de lenha, em toneladas ou carradas de resíduo, etc);
- o custo de compra do combustível (somando o preço na origem mais o custo de transporte até a empresa, por mst de lenha, por tonelada, por carrada, etc.);
- a produção obtida em cada fornada (em milheiros de peças dos tipos X, Y, Z...).

O custo unitário final então poderá ser calculado da seguinte forma:

$$\text{CustoUnitário} = \frac{\text{Consumo}_{\text{combustível}_A} \times \text{Custo}_{\text{compra}_B}}{\text{Produção}_C}$$

Exemplo: uma cerâmica consome 2 mst de poda de caju que compra a R\$25,00 /mst por cada mil tijolos; ou 1,2 mst de algaroba que paga a R\$ 35,00 / mst.

O custo unitário final é:

$$\text{Com CAJU} = \frac{2,0_{\text{mst}} \times 25_{\text{R\$/mst}}}{1_{\text{milheiro}}} = \text{R\$ } 50,00/\text{milheiro}$$

$$\text{Com ALGAROBA} = \frac{1,2_{\text{mst}} \times 35_{\text{R\$/mst}}}{1_{\text{milheiro}}} = \text{R\$ } 42,00 / \text{milheiro}$$

Ainda que o custo de compra da lenha de caju seja menor, o custo final por milheiro de tijolos é mais alto com esta do que utilizando lenha de algaroba.

Quando são utilizados dois ou mais combustíveis na mesma fornada, seus custos parciais devem ser somados.

É bastante comum que sejam usados diferentes tipos de lenha, e as vezes combinados com alguns resíduos como cascas ou madeiras de construção. Cada uma destas combinações ou “misturas” vai resultar em um custo unitário diferente.

8 | Análise detalhada dos custos de combustível

O custo final da biomassa combustível “posto no forno” (entregue na empresa), pode ser calculado através da soma dos custos das várias etapas:

- a. Compra e transporte
- b. Estocagem e manuseio
- c. Beneficiamento
- d. Alimentação dos fornos

a. Compra e transporte

O custo de compra “na origem” pode incluir ou não o custo de carregamento. No caso da lenha, o preço é pelo geral fixado em R\$ por metro estéreo “posto no carreador” ou na beira da estrada, e outras vezes por metro estéreo carregado (ou seja, que a lenha é medida após o carregamento do caminhão).

Dependendo da arrumação, da grossura, e da forma da lenha, os “metros no caminhão” apresentam quase sempre mais madeira que os “metros no chão”, com diferenças de até 10%. Assim, um metro de lenha carregado contém até 10% menos biomassa que um metro “no chão”. Por isso, alguns compradores preferem comprar lenha por tonelada, para evitar essa perda. Já outros empresários empilham a lenha após a descarga, para verificar os metros de lenha recebidos.

O custo de transporte da lenha é proporcional à distância percorrida. As figuras 20, 21 e 22 apresentam os valores de fretes pagos e custos unitários de fretes de lenha em Pernambuco, em abril de 2014, para caminhões tipo truque, com capacidade média de 45 estéreos de lenha.

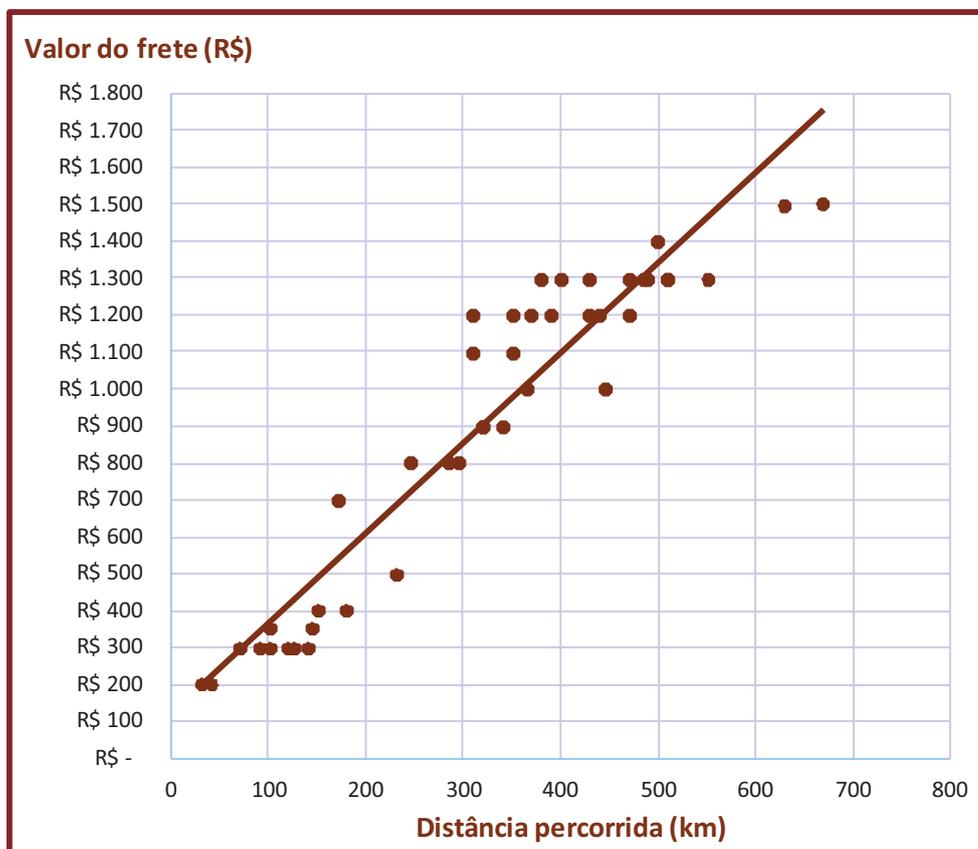


Figura 20 - Custo do frete de lenha no estado de Pernambuco por carrada em função da distância percorrida

Nessa data, o valor mínimo do frete (R\$) era de R\$ 200,00 para 30 km, acrescentando em média R\$ 2,50 por cada quilômetro adicional até um valor máximo de R\$ 1.500,00 para distâncias de até 670 km.

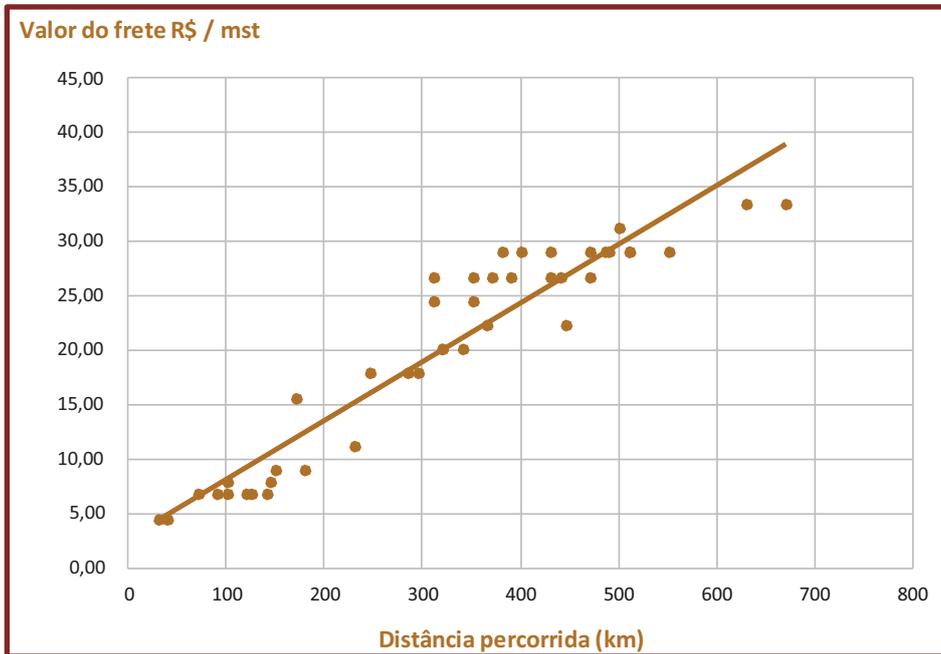


Figura 21 - Custo do frete de lenha no estado de Pernambuco por metro estéreo em função da distância percorrida

O valor do frete por estéreo (R\$/st) varia em até 25% para as mesmas distâncias (Figura 21). Por fim, temos a variação no valor do frete (R\$/tMS) partindo de um mínimo de 18,00 à um máximo de 139,00, com variação média de 0,20 para cada quilômetro rodado (Figura 22).

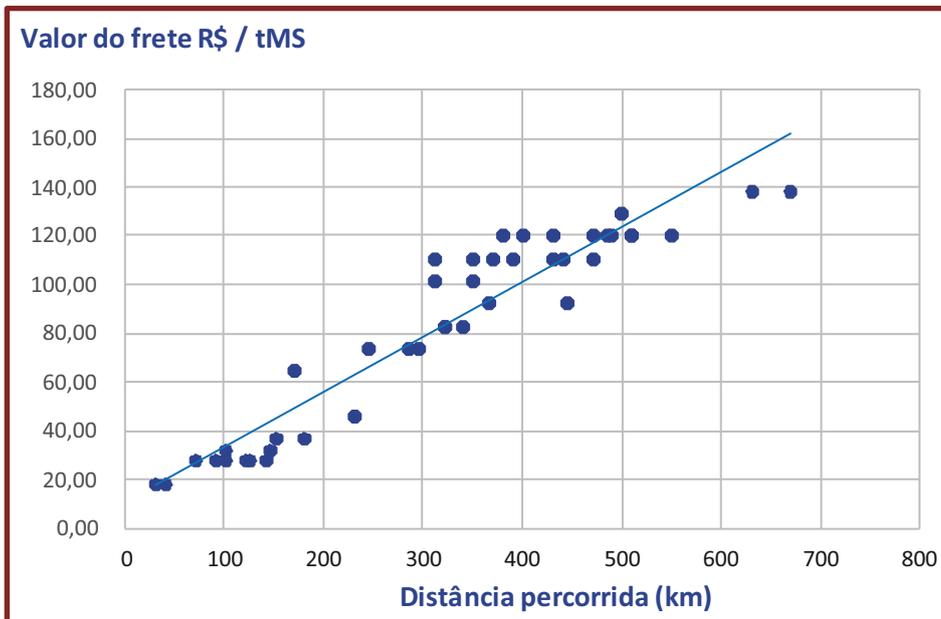


Figura 22 - Custo do frete de lenha no estado de Pernambuco por tonelada de matéria seca em função da distância percorrida

Como o preço na origem em 2013 e 2014 variava de R\$ 13,00 a 28,00 /mst para lenha de caatinga, e de R\$ 15,00 a 25,00 /mst de lenha de algaroba, o custo do frete igualava ao valor da lenha para distâncias de transporte de 200 a 400 km. No mesmo ano, o preço da lenha de eucalipto em origem, no sudeste da Bahia, era muito maior: de R\$ 45,00 a 60,00/estéreo.

Os preços de biomassa combustíveis expressos em R\$/estéreo e na condição “posto na indústria” no final do ano 2015 são resumidos na Tabela 7.

Tabela 7 – Preços de biomassa combustíveis “posto na indústria”, 2015 (R\$/st)

	Caatinga	Algaroba	Cajueiro	Eucalipto	Casca de Coco	Serragem	Sarrafo	Bambu	Poda de Frutas
Paudalho/PE	R\$ 45,65								
Paudalho/PE	R\$ 41,00	R\$ 61,50			R\$ 20,00	R\$ 22,50			
Paudalho/PE	R\$ 45,00	R\$ 60,00	R\$ 35,00						
Russas/CE	R\$ 30,00		R\$ 30,00						
São João/BA				R\$ 70,00			R\$ 60,00	R\$ 30,00	
Seridó/RN	R\$ 30,00	R\$ 37,50	R\$ 25,00						
Itajai/RN	R\$ 39,00	R\$ 43,00	R\$ 29,00						R\$ 33,00

As diferenças entre preços por metro estéreo são grandes, porém, quando estes valores são convertidos a preços por tonelada de matéria seca (tMS), os valores são muito mais próximos, mesmo permanecendo diferenças entre locais, como demonstrado na Tabela 8.

Tabela 8 – Preços de biomassa combustíveis “posto na indústria”, 2015 (R\$/tMS)

	Caatinga	Algaroba	Cajueiro	Eucalipto	Casca de Coco	Serragem	Sarrafo	Bambu	Poda de Frutíferas	Média
Seridó/RN	R\$ 125,00	R\$ 130,66	R\$ 101,21							R\$ 118,96
Russas/CE	R\$ 125,00		R\$ 121,46							R\$ 123,23
Itajubá/RN	R\$ 162,50	R\$ 159,83	R\$ 117,41						R\$ 133,60	R\$ 140,83
Bezerros/PE	R\$ 187,40	R\$ 209,06	R\$ 141,70							R\$ 179,42
Caruarú/PE	R\$ 170,83	R\$ 214,29			R\$ 178,57	R\$ 165,44				R\$ 182,28
Paudalho/PE	R\$ 190,11									R\$ 190,21
São João/BA				R\$ 231,02			R\$ 200,00	R\$ 238,10		R\$ 223,04

Os polos cerâmicos de Russas (CE) e do Seridó (RN) tem os menores preços médios. Paudalho (PE), Bezerros(PE) e Mata de São João (BA) tem os preços médios mais altos.

b. Estocagem e manuseio

Habitualmente, a estocagem não é um fator de custo importante, quando não se considera o custo financeiro correspondente ao valor do dinheiro parado no pátio.

Para evitar os custos de manuseio desde o pátio até os fornos – que representa o salário de um a dois funcionários por cada turno de trabalho – alguns empresários preferem consumir imediatamente a lenha recebida no dia, depositando-a na beira dos fornos, e enviar para o pátio somente os excedentes que não podem ser consumidos no dia de sua chegada.

Este critério simplifica a operação, minimizando o manuseio de lenha, porém não promove sempre as melhores decisões. Por exemplo, quando a lenha recebida está verde, é mais conveniente estocá-la por um a três meses no pátio e classificá-la depois pela sua grossura e qualidade, para levar aos fornos separadamente as lenhas mais apropriadas para “esquento” (grossas e de queima lenta) e as lenhas “de caldeio” (mais finas e de queima rápida).

O tempo necessário para a secagem da lenha é muito variável:

- No sertão, na estação seca, bastam um a dois meses para reduzir a umidade média da lenha verde, recebida com 40% a 50% de umidade, para menos de 20%;
- No litoral e na estação de chuvas, o tempo para secar até 20% pode ultrapassar os seis meses.

A lenha fina seca naturalmente no pátio em muito menos tempo que a lenha grossa. Os cavacos, quando espalhados ao sol em áreas ventiladas, podem secar rapidamente, reduzindo de 40% a 10% de umidade em três ou quatro dias. Assim, a picagem da lenha é uma boa alternativa para utilizar lenhas verdes com alta eficiência e poder atingir altas temperaturas de queima, desde que seja possível secar bem os cavacos obtidos.

A estocagem de lenha no pátio por mais de quatro ou seis meses não é recomendável, por duas razões:

- Na estação chuvosa, as partes inferiores das pilhas de lenha podem apodrecer por excesso de umidade;
- Em certos tipos de lenha, como a “lenha branca” de algaroba, se reproduzem insetos (“gorgulhos”, “carunchos” ou “brocas”) que fazem galerias para se alimentar da madeira, reduzindo o peso da biomassa estocada. Nestes casos, as perdas de massa e de energia durante a estocagem podem ser consideráveis.

c. Beneficiamento

As biomassas podem ser beneficiadas para melhorar suas propriedades e fazer um uso mais eficiente. A seguir, são descritos os principais tipos de beneficiamento e os custos envolvidos.

O beneficiamento mais simples no caso da lenha consiste na seleção de lenha fina e grossa, e também na classificação de lenhas “fracas” e “quentes”, para usá-las separadamente no esquento e no caldeio. O custo desta operação equivale aproximadamente ao salário de dois funcionários para processar de 20 a 30 mst / dia.

Quando se recebem peças de lenha muito grossas, é conveniente rachá-las para facilitar seu manuseio e queima: existem no mercado máquinas rachadoras de baixo custo que ajudam a rachar peças grandes. Um funcionário com uma máquina de 5 HP (motor de gasolina) pode rachar 5 toneladas por dia ou 15 estéreos/dia. O uso da motosserra não é recomendado para rachar: seu custo operativo é maior e o risco de acidentes é alto.

Para fornos que permitem a alimentação de combustível moído, uma boa opção é **transformar a lenha em cavacos**, que podem alimentar a fornalha de forma mecanizada. Com alta eficiência de queima, reduz-se o consumo específico e facilita a regulação da temperatura de queima. O custo de produção pode variar de 15 a 25 dólares / tMS (ou seja, R\$ 55,00 a R\$ 100,00 / tMS)⁹.

A picagem de madeira e resíduos para obter cavacos é mais fácil em estado verde. Porém, a combustão dos cavacos é mais eficiente em estado seco (menos de 20% de umidade).

O ideal é picar a lenha verde e depois secar os cavacos em um pátio extenso (por dois dias ou mais, em camadas de até 5 cm de grossura) antes de armazená-los ou queimá-los.

A picagem de lenha requer investimentos relativamente altos: um picador móvel para trator agrícola custa mais de 40 mil USD (\cong R\$ 148 mil), e um picador fixo com motor elétrico e instalação completa custa mais de 100 mil USD (\cong R\$ 370 mil). Além disso, sua capacidade de beneficiamento pode ser excessiva para uma empresa de médio porte: um picador móvel com trator de 100 HP produz 4 toneladas de cavaco seco por hora ou 24 toneladas/dia, e um picador fixo de 150 HP pode chegar a 8 ton/h ou 50 ton/dia.

Logo, pode ser conveniente associar várias empresas cerâmicas para realizar a produção de cavacos, ou contratar o serviço de um terceiro para abastecer várias indústrias.

⁹ Dólar a R\$3,7 em abril de 2016.

No caso de resíduos de pequenas dimensões, como serragem, bagaço, casquinhas e outros, é possível secar, moer e comprimir a biomassa para produzir briquetes ou pellets.



Figura 23 - Pellets

Pellets (cilindros)

Diâmetro: 6 a 10 mm

Comprimento: 25 a 50 mm

Briquetes

Diâmetro: 80 a 120 mm

Comprimento: 30 a 500 mm



Figura 24 - Briquetes

Os briquetes são cilindros de 80 a 120 mm de diâmetro e os pellets são de 6 a 10 mm de diâmetro. As operações de produção de briquetes e pellets são relativamente complexas e não é recomendável que uma empresa cerâmica as realize. Isto pode ser técnica e logisticamente viável para um grupo de empresas.

As principais vantagens dos pellets e briquetes são:

- Baixa umidade (porque só podem ser fabricados se a biomassa tiver menos de 10% de umidade);
- Densidade alta, o que reduz o volume de armazenamento;
- Alta temperatura de combustão.

Os pellets e briquetes não toleram contato com água (porque desmancham) e não podem ser armazenados em lugares úmidos. Logo, o seu custo de estocagem é elevado. Mas, a principal desvantagem dos pellets e briquetes é seu alto custo de fabricação devido ao alto consumo de eletricidade e o intenso desgaste das máquinas.

Assim, a produção de briquetes custa cerca de 60 - 70 USD/tonelada (R\$ 220,00 a 260,00 por tonelada) e o custo de elaboração de pellets geralmente ultrapassa 80 - 90 USD/tonelada (R\$ 300,00 a 340,00 por tonelada).

d. Alimentação dos fornos

O custo de alimentação dos fornos depende da tecnologia utilizada, que pode ser manual, semi-mecanizada ou mecanizada.

Na alimentação manual todo o movimento de biomassa desde o pátio até a fornalha é feito com trabalho humano. De modo geral, a equipe é formada por um forneiro e um ajudante em cada forno, mais um ou dois operários para trazer a biomassa do pátio.

As principais desvantagens da alimentação manual são:

- **Descontinuidades na carga e na queima de combustível:** nos fornos de várias fornalhas, cada uma delas recebe uma carga grande de lenha “até encher a boca” para que o pessoal possa continuar atendendo as fornalhas restantes. Assim, a relação ar:combustível varia continuamente entre insuficiente e excessiva; e este ciclo se repete muitas vezes ao longo da queima.
- **Temperatura de gases variável:** a temperatura dos gases na saída da fornalha diminui no momento em que se carrega o combustível, aumenta logo depois e vai caindo até a carga seguinte. Esta variação pode ser de até 200 °C e afeta negativamente a transferência de calor para as peças. Em casos extremos, ocorrem temperaturas muito altas, que podem distorcer ou “requeimar” um percentual das peças. Em outros casos, ocorre uma **queima irregular** com um percentual de peças “requeimadas” e outro de peças “cruas” ou “mal-cozidas”.
- **Dependência do forneiro:** quando a queima é manual, seu resultado depende completamente do bom senso e da **atenta vigilância** de uma pessoa, que é o forneiro. Além disso, muitas queimas são feitas no horário noturno, razão pela qual é comum que aconteçam descuidos ou outras falhas no trabalho, que afetam negativamente a qualidade, a produtividade e os custos da empresa.

Nos sistemas de **alimentação semi-mecanizada**, o combustível é levado até a fornalha por meios manuais e depois é injetado na fornalha por meios mecânicos. Existem distintos modelos de alimentadores de biomassa desenhados para serragem, casquinha de caju, cavacos, etc. Quase todos estes têm um parafuso dosificador de combustível, de velocidade variável, que **extrai o combustível do depósito de forma contínua e regulada**, e uma ventoinha ou turbina que gera uma corrente de ar para impulsionar o combustível dentro da fornalha. Assim, o alimentador cumpre duas funções: alimentar o combustível e injetar ar primário dentro da fornalha para facilitar a combustão. Alguns destes equipamentos têm um controle de vazão, vinculado a sensores de temperatura.

Nos sistemas de **alimentação mecanizada**, a movimentação e alimentação do combustível são feitas por meios totalmente mecânicos. Estes são sistemas complexos e de alto investimento, que só podem funcionar com cavacos e outras biomassas moídas.



Figura 25 - Caixa alimentador de biomassa

9 | Adaptação das biomassas aos fornos

Nem todos os tipos de biomassa podem ser utilizados em todos os tipos de fornos para obter todos os produtos. A **tabela 9** resume as combinações mais comuns de fornos, combustíveis e produtos.

Tabela 9 – Tipo de combustível em função do tipo de forno e do produto

Tecnologia de queima	Forno tipo	COMBUSTÍVEIS APTOS	Bloco de Vedação e Estrutural	Lajota	Telhas
Contínua	Túnel	Lenha, cavacos, resíduos, outros combustíveis gasosos e líquidos	●	●	●
Semi-continua	Câmaras/Cedan	Lenha, bambu, resíduos, adaptável para cavacos e pó de serra	●	●	●
	Hoffman	Lenha, bambu, resíduos, adaptável para cavacos e pó de serra	●	●	●
Intermitente tiragem invertida, com chaminé	Paulistinha	Lenha, bambu, resíduos, adaptável para cavacos e pó de serra	●	●	●
	Abóbada	Lenha, bambu, resíduos, adaptável para cavacos e pó de serra	●	●	●
	Capelinha/Corujinha/Igrejinha	Lenha	●	●	●
Intermitente tiragem ascendente, sem chaminé	Caipira/Caiera	Lenha	●	●	●
	Caipira (com teto)	Lenha	●	●	●

Legenda: Bom = ● Aceitável = ● Inadequado = ●

O combustível a ser utilizado está mais relacionado com o sistema de alimentação e queima do que ao tipo de forno.

Na prática, a escolha do tipo de biomassa pode ocorrer a partir de duas situações:

- a. O combustível é selecionado em função do forno disponível - no caso de cerâmicas já instaladas e fornos já construídos;
- b. O tipo de forno é definido em função da biomassa mais interessante e disponível no local, nos casos de cerâmicas que iniciarão a construção dos fornos.

Os Anexos 1 e 2 apresentam um roteiro ou uma matriz de escolha das biomassas mais recomendáveis para as diferentes situações.

Neste manual não comentamos aspectos de regulação de ar primário e secundário, regulação da vazão de gases e adaptações de curva de queima. Essas questões podem ser encontradas no **Manual de Eficiência Energética na Indústria de Cerâmica Vermelha** e no **Manual de Fornos Eficientes para a Indústria de Cerâmica Vermelha**.

10 | Organização do fornecimento

Além dos aspectos técnicos e financeiros das biomassas disponíveis, é necessário considerar as formas de fornecimento para a empresa ou para os pólos.

As seguintes opções podem ser avaliadas com as suas respectivas vantagens e desvantagens:

a) Fornecedores múltiplos, com pátio e manuseio próprio

Este é o sistema mais tradicionalmente utilizado pelos ceramistas. A empresa detém um cadastro de diferentes fornecedores de biomassa, que entregam material “posto na fábrica”. A biomassa é estocada no pátio próprio da cerâmica ou descarregada na beira dos fornos e toda movimentação desde o pátio ocorre com recursos próprios (mão-de-obra e maquinária).

Vantagens:

- Menor risco de desabastecimento por dispor de vários fornecedores;
- Independência das operações externas;
- A empresa não se responsabiliza diretamente pela origem da biomassa, tendo facilidades logísticas.

Desvantagens:

- Maior dificuldade de organização e qualificação da biomassa
- A empresa não se responsabiliza diretamente pela origem da biomassa, podendo ter o recebimento afetado por problemas de terceiros.

b) Fornecimento desde centrais de estocagem e processamento, sem pátio próprio.

Esse sistema é mais recomendado para biomassas processadas como cavacos e briquetes. Isso é devido ao seu maior custo de produção e necessidade de tecnologia especial para processar biomassa, que é distinta da tecnologia de produção cerâmica. Também é indicado para aproveitamento de resíduos que demandem uma logística de colheita diferenciada.

Esse sistema também permite atender demandas específicas e diversas de diferentes cerâmicas ao redor da central de abastecimento, promovendo assim maior racionalidade e economicidade no uso da biomassa. Nesse caso, uma empresa especializada centraliza o fornecimento da biomassa (aquisição, beneficiamento e estocagem) e garante a sua distribuição para as diferentes cerâmicas associadas.

Vantagens:

- Menor preocupação das cerâmicas com a obtenção e fornecimento da biomassa,
- Possibilidade de reduzir custos e aumentar eficiência na estocagem e distribuição,
- Maior homogeneidade e controle de qualidade da biomassa (secagem, tamanho de partículas),
- Nota fiscal do produto comprova origem legal da biomassa, cuja responsabilidade será do provedor.

Desvantagens:

- Menor autocontrole e autonomia individual de cada empresa associada;
- Maior preço de compra.

"Em São José dos Pinhais, no estado do Paraná, existe um polo produtor de cerâmica para construção civil onde um grupo de ceramistas montou uma central de beneficiamento dos resíduos para produzir combustíveis.

Refugos das indústrias da região, principalmente pallets, e sobras de construções civis, bem como outras madeiras abandonadas em ruas e estradas são coletadas ou entregues por terceiros na Central de Logística e Reciclagem – CLR, onde são processados por um picador de 150 cv, com capacidade nominal de 40m³/h, chegando a uma produção média de 1.500 toneladas de biomassa por mês, fornecendo para todos os associados da Associação de Ceramistas de São José dos Pinhais – ACSJP, combustível a preços acessíveis além de prover ceramistas da grande Curitiba e algumas empresas de cal.

A existência da central fomenta a injeção de tecnologia no processo de queima, incentivada pela oferta de combustível com possibilidade de alimentação automática e maior eficiência."



Figura 26 - Picador utilizado na CLR



Figura 27 - Material residual a ser processado



Figura 28 - Cavaco produzido na CLR

c) Fornecimento próprio: com plano de manejo florestal ou plantio.

Consiste na estratégia da cerâmica dispor de fontes próprias de abastecimento de biomassa (atendendo parcial ou totalmente suas necessidades). Essas fontes podem ser, separadamente ou paralelamente, planos de manejo florestal da caatinga e/ou plantios florestais (eucalipto, algaroba, outras).

Vantagens:

- Maior controle do abastecimento da biomassa na empresa;
- Independência das variações de preços no mercado de biomassas;
- Redução do custo da biomassa.

Desvantagens:

- Necessidade de coordenar outra atividade produtiva na empresa;
- Necessidade de corpo técnico específico, seja próprio ou terceirizado (Engenheiro Florestal habilitado).

11 | Qual a melhor biomassa para a minha empresa?

Difícilmente, um único tipo de biomassa atende a todos esses requisitos de maneira satisfatória. Por isso, a maioria das empresas utilizam vários tipos de biomassa, combinando suas propriedades e variando as proporções utilizadas, de acordo com a disponibilidade e o custo de cada combustível, bem como levando em conta as demandas de produtos da empresa.

A biomassa ideal para uma empresa cerâmica é aquela que pode:

- Gerar o menor custo por unidade de produto obtido;
- Assegurar o padrão de qualidade nos produtos;
- Garantir alta produtividade dos fornos;
- Ter fornecimento contínuo e assegurado em curto e longo prazo;
- Estar autorizada pelos órgãos ambientais.

Como regra prática, pode-se recomendar que, dentre as biomassas oferecidas no mercado local, sejam preferidas aquelas que queimam maior quantidade de produtos com menor custo final, ou seja, escolher biomassas com menor consumo específico e menor preço por unidade de calor útil.

Também é recomendável manter no pátio uma reserva de biomassa legalizada, de alto poder calorífico e de manuseio simples (como a lenha de algaroba ou lenha de caatinga de alta densidade), para dispor sempre de um combustível de qualidade ocupando o menor volume possível.

Se a empresa faz entrega de seus produtos com caminhões próprios, pode ser vantajoso coletar biomassa residual de baixo custo (como cascas de coco, poda de caju, pó de serra, rejeitos de construção civil, dentre outros) disponíveis nos locais de destino, e aproveitar a viagem de retorno dos veículos para obter baixos custos de transporte.

Como se pôde observar ao longo da pesquisa para realização deste manual, a escolha de melhor biomassa combustível para cada empresa envolve uma série de critérios que devem ser avaliados caso a caso.

Os principais critérios que podem ser considerados na tomada de decisão sobre qual biomassa utilizar são:

Critério A: localização da cerâmica → define as biomassas disponíveis e concorrência.

Tabela 10 – Critério A

Região	Biomassa disponível	Concorrência	Estado
Recôncavo Baiano	Lenha de eucalipto Bambu Resíduos da indústria de celulose Resíduos da indústria madeireira (costaneiras, sarrafos, pellets)	Fábricas de celulose Carvoarias	Bahia
Sergipe	Lenha de eucalipto (BA) Lenha de manejo da caatinga Podas de frutíferas	Padarias Casa de farinha	Sergipe
Região Metropolitana Recife	Lenha de manejo da caatinga Algaroba Resíduos (construção, serragem)	Indústrias de papel (2) Indústria alimentícia	Pernambuco
Caruaru-Bezerros	Lenha de manejo da caatinga Algaroba Resíduos (construção, serragem)	Indústrias diversas	Pernambuco
Seridó RN e PB	Lenha de manejo da caatinga Algaroba Cajueiro Resíduos (serragem)	Caieira de cal Fábricas de Caulim Indústria alimentícia	Rio Grande do Norte e Paraíba – Seridó
Natal – São José do Mipibu – Macaíba	Lenha de manejo da caatinga Algaroba Resíduos (construção, serragem, coco) Cajueiro	Indústrias alimentícias	Rio Grande do Norte
Assu-RN	Lenha de manejo da caatinga Algaroba Resíduos (serragem) Lenha de poda y corte de cajueiros		Rio Grande do Norte
Russas	Lenha de manejo da caatinga Algaroba Resíduos (serragem) Cajueiro		Ceará
Fortaleza – Caucaia	Lenha de manejo da caatinga Algaroba Resíduos (pallets) Cajueiro	Indústrias diversas	Ceará
Crato – Juazeiro do Norte	Lenha de manejo da caatinga Algaroba Cajueiro	Polo gesso do Araripe Indústria alimentícia	Ceará

Link para mapeamento dos Planos de Manejo Florestal Sustentáveis do Nordeste:

http://www.cnip.org.br/planos_manejo.html

Link para mapeamento das principais bacias de algarobais espontâneos do Nordeste:

<http://www.cnip.org.br/algarobais.html>

Critério B: Tipos de fornos existentes na indústria → define as biomassas adaptadas

Tabela 11 – Critério B

Tipo de forno	Biomassa utilizável
Hoffman	Lenha fina, de qualquer fonte Bambu Cavacos Resíduos triturados.
CEDAN ou “câmaras”	Lenha fina, de qualquer fonte Casca de coco Cavacos Bambu
Túnel	Lenha fina de qualquer fonte Cavacos Resíduos moídos
Duas câmaras	Lenha fina de qualquer fonte e resíduos
Paulistinha	Lenha fina e grossa, de qualquer fonte
Capelinha	Lenha fina e grossa, de qualquer fonte
Abóbada	Lenha fina e grossa, de qualquer fonte cavacos Resíduos
Caipira	Lenha fina e grossa, de qualquer fonte, bucha de coco
Caipira com teto	Lenha fina e grossa, de qualquer fonte

Critério C: Imagem externa da empresa ou interesse/possibilidade de certificação
 → define a necessidade de biomassas sustentáveis e legais.

Tabela 12 – Critério C

Biomassas renováveis e legais	Biomassas não-renováveis e ilegais
Lenha de manejo florestal da caatinga	Lenha de caatinga de corte não autorizado
Lenha de plantio florestal (eucalipto)	Lenha de algaroba de APPs
Lenha de algaroba fora das APPs	Lenha de derrubada de árvores frutíferas
Podas de frutíferas de árvores que continuem vivas	
Resíduos diversos (serragem, casca de coco)	

Critério D: Tipo de produto e seu valor de mercado → define poder de concorrência e o preço que pode ser pago pelo combustível.

Tabela 13 – Critério D

Biomassa	Preço médio, R\$/tMS	Classe de Custo e qualidade	Tipo de produto que obtém
Cajueiro	120,00	Custo baixo, baixa qualidade	Bloco de vedação de segunda, telha de segunda
Poda de frutíferas	134,00		
Caatinga	160,00	Custo médio, boa qualidade	Todos os produtos, inclusive os estruturais
Serragem	165,00		
Algaroba	176,00		
Casca de coco	179,00	Custo medio, baixa qualidade	Misturado com outros combustíveis, para produtos de media qualidade
Sarrafo	200,00	Custo alto, muito alta qualidade	Produtos de media e alta qualidade, estruturais e decorativos
Eucalipto	231,00		
Bambu	238,00		

Os Anexos 1 e 2 apresentam uma matriz de seleção que pode ajudar o empresário na escolha da biomassa combustível mais adequada para a sua empresa e na tomada de decisão.



12 | BIBLIOGRAFIA

APNE. Estudo de quadro da oferta de biomassa combustível para a indústria de cerâmica na Região Nordeste do Brasil. Recife, Pernambuco: APNE, 2014. 63 p.

BRAND, M.A. Energia de biomassa florestal. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131 p.

PAREYN, F. et al. Cuidando da Caatinga. Pernambuco: Associação de Plantas do Nordeste & Royal Botanic Gardens Kew, 2013. 23 p.

EMBRAPA FLORESTAS. Algaroba (*Prosopis juliflora*): árvore de uso múltiplo para a região semiárida brasileira. Embrapa Florestas, Comunicado Técnico, n. 240. 2009. 8 p.

INT/MCTI. Manual de eficiência energética na indústria de cerâmica vermelha. Projeto Eficiência Energética em Ladrilleras. 2ª Edição. Rio de Janeiro. 2015. 24p.

INT/MCTI(a). Manual de fornos eficientes para a indústria de cerâmica vermelha. Projeto Eficiência Energética em Ladrilleras. Rio de Janeiro. 2015. 61p.

INT/MCTI. Panorama da indústria de cerâmica vermelha na região Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro. 2013. 44p.

GOMES, B. et al. Potencial energético do resíduo proveniente do consumo do coco verde. 7º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás. 2013. Disponível em: <http://tinyurl.com/z62e5br>. Último acesso em: 25/07/2016.

MARAFON, A. Pesquisa em Capim-Elefante com fins energéticos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <http://tinyurl.com/gvjw5ue>. Último acesso em: 29/07/2016.



ANEXOS



Anexo 1. – Tabela de resumo das biomassas e sua aplicabilidade

Tipo de biomassa		Renovabilidade / sustentabilidade	Legalidade	Adequada para:	Preço	Transporte	Beneficiamento	Alimentação dos fornos
Grupo	Origem							
Lenha	Manejo florestal sustentado	OK	OK	Todo tipo de forno	R\$ 30,00-45,00/st	Caminhão tradicional	Secagem Separação fina e grossa	Manual
	Exploração sustentada não autorizada	OK	NÃO		R\$ 30,00-45,00/st	Caminhão tradicional	Secagem Separação fina e grossa	Manual
	Desmatamento autorizado	NÃO	OK		R\$ 30,00-45,00/st	Caminhão tradicional	Secagem Separação fina e grossa	Manual
	Desmatamento não-autorizado	NÃO	NÃO		R\$ 30,00-45,00/st	Caminhão tradicional	Secagem Separação fina e grossa	Manual
	Plantio florestal (Eucalipto)	OK	OK		R\$ 70,00/st	Caminhão tradicional e carreta	Secagem Separação fina e grossa	Manual
	Algaroba	OK	OK		R\$ 37,00-62,00/st	Caminhão tradicional	Secagem Separação fina e grossa	Manual
Resíduo	Poda	OK	OK		R\$ 25,00-35,00/st	Caminhão tradicional	Secagem Separação fina e grossa	Manual
	Bambu	OK	OK	F. Contínuos	R\$ 30,00/st	Caminhão tradicional	Secagem	Manual
	Casca de frutos	OK	OK	F. Contínuos	R\$ 20,00/st	Caminhão ajustado ou baú	Secagem	Manual ou automatizado
	Bagaço de cana-de-açúcar	OK	OK	Necessita processamento		Caminhão tradicional	Secagem	Manual
Biomassa processada	De indústria madeireira e construção	OK	OK	Todo tipo de forno	R\$ 22,00-60,00/st	Caminhão tradicional	Secagem Separação fina e grossa	Manual
	Cavaco	Segundo origem	Segundo origem		??	Caminhão ajustado ou baú	Secagem	Manual ou automatizado
	Briquete	Segundo origem	Segundo origem		??	Caminhão ajustado ou baú	Pronto para uso	Manual

Anexo 2. – Tabela resumo de possibilidades de biomassas por região e por tipo de forno

Região/polo	Hoffman	CEDAN	Túnel	Duas câmaras	Paulistinha	Capelinha	Abóbada	Caipira	Caipira c/ teto
Recôncavo BA		Lenha de eucalipto R\$ 70,00/st Sarrafo R\$ 60,00/st Bambu R\$ 30,00/st							
		Potencial para cavacos							
Região Metropolitana Recife		Lenha de caatinga R\$ 46,00/st Lenha de algaroba R\$ 60,00/st Podas R\$ 33,00/st							
		Potencial para cavacos							
Caruaru-Bezerros		Potencial para briquetes de cana-de-açúcar (com bagaço até R\$ 100,00/t)							
		Lenha de caatinga R\$ 43,00/st Lenha de algaroba R\$ 60,00/st Podas R\$ 35,00/st							
Sertão RN e PB		Casca de coco R\$ 20,00/st Serragem R\$ 22,50/st							
					Lenha caatinga R\$ 30,00/st Lenha de algaroba R\$ 37,50/st Podas R\$ 25,00/st			Lenha de caatinga R\$ 30,00/st Lenha de algaroba R\$ 37,50/st Podas R\$ 25,00/st	
Natal – São José do Mipibu – Macaíba					Lenha de caatinga R\$ 38,00/st Lenha de algaroba R\$ 50,00/st Podas R\$ 33,00/st Bucha de coco				
		Lenha de caatinga R\$ 39,00/st Lenha de algaroba R\$ 43,00/st Podas R\$ 29,00/st							
Assu-RN		Potencial para cavacos							
					Lenha de caatinga R\$ 38,00/st Podas R\$ 30,00/st				
Russas		Potencial para cavacos							
					Lenha de caatinga R\$ 38,00/st Podas R\$ 30,00/st				
Fortaleza – Caucaia		Potencial para cavacos							
					Lenha de caatinga R\$ 38,00/st Podas R\$ 30,00/st				
Crato – Juazeiro do Norte		Lenha de caatinga R\$ 37,50/st Lenha de algaroba R\$ 37,50/st Podas R\$ 35,00/st							
		Potencial para cavacos							



ASSOCIAÇÃO PLANTAS DO NORDESTE



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE



swisscontact



MINISTÉRIO DA
**CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES**

