

Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável  
Fundação Estadual do Meio Ambiente  
Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento  
Gerência de Produção Sustentável

# AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DAS INDÚSTRIAS DE CERÂMICA VERMELHA NO ESTADO DE MINAS GERAIS

FEAM - DPED - GPROD - RT 02/2012



Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável  
Fundação Estadual do Meio Ambiente  
Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento  
Gerência de Produção Sustentável

# **AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DAS INDÚSTRIAS DE CERÂMICA VERMELHA NO ESTADO DE MINAS GERAIS**

FEAM - DPED - GPROD - RT 02/2012

Belo Horizonte  
Julho 2012



© 2012 Fundação Estadual do Meio Ambiente

**Governo do Estado de Minas Gerais**

Antônio Augusto Junho Anastasia

Governador

**Sistema Estadual do Meio Ambiente – Sisema**

**Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável -  
Semad**

Adriano Magalhães Chaves

Secretário

**Fundação Estadual do Meio Ambiente - Feam**

Ilmar Bastos Santos

Presidente

**Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento**

Janaína Maria França dos Anjos

Diretora

**Gerência de Produção Sustentável**

Antônio Augusto Melo Malard

Gerente

**Elaboração:**

José Alberto de Oliveira Soares Teixeira - Analista Ambiental

Ficha Catalográfica elaborada pelo Núcleo de Documentação Ambiental

F981a	Fundação Estadual do Meio Ambiente. Avaliação energética das indústrias de cerâmica vermelha no Estado de Minas Gerais / Fundação Estadual do Meio Ambiente. --- Belo Horizonte: FEAM, 2012. 40 p. ; il.  FEAM - DPED - GPROD - RT 02/2012.  1. Indústria de cerâmica vermelha – consumo energético. 2. Cerâmica vermelha – processo produtivo. I. Título.
-------	---

CDU: 666.3:620.91

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 - Custos de produção da cerâmica vermelha em Minas Gerais.....	4
Figura 2-2 - Plantios de eucalipto nos municípios sob a jurisdição da SUPRAM Central.....	6
Figura 2-3 - Ocorrência de cerâmicas vermelhas nos municípios sob a jurisdição da SUPRAM Central .....	7
Figura 3-1 - Setores cerâmicos, matérias primas e processos de fabricação. ....	8
Figura 3-2 - Processo produtivo da cerâmica vermelha.....	9
Figura 3-3 – Produção Cerâmica em Fornos Intermitentes .....	11
Figura 3-4 - Forno Abóboda com alimentador para queima de serragem.....	12
Figura 3-5 - Forno Abóboda mostrando as dimensões das entradas em relação a .....	12
Figura 3-6 - Detalhe do queimador lateral de um forno abóboda.....	13
Figura 3-7 - Secador em temperatura ambiente com cobertura plástica.....	13
Figura 3-8 - Secagem forçada com ventiladores em galpão.....	14
Figura 3-9 - Aproveitamento de calor de forno abóboda.....	15
Figura 3-10 - Uso de pallet como combustível em fornos cerâmicos.....	16
Figura 3-11 – Produção Cerâmica em Fornos Contínuos/Semi-Contínuos.....	18
Figura 3-12 - Emissão de CO <sub>2</sub> em amostras de argila com lodo de ETA .....	22
Figura 3-13 - Comparação entre consumos energéticos em Minas Gerais e o consumo mínimo no Rio Grande do Sul .....	31
Figura 3-14 - Comparação entre consumos energéticos em Minas Gerais e o consumo máximo no Rio Grande do sul .....	31
Figura 3-15 - Comparação entre consumos energéticos em Minas Gerais e o valor mínimo obtido por Sperb <i>apud</i> Manfredini (2005) .....	32
Figura 3-16 - Comparação entre consumos energéticos em Minas Gerais e o valor máximo obtido por Sperb <i>apud</i> Manfredini (2005) .....	33
Figura 3-17 - Comparação entre consumos energéticos em Minas Gerais e o valor mínimo da SUDENE/ITEP <i>apud</i> Manfredini (2005).....	34
Figura 3-18 - Comparação entre consumos energéticos em Minas Gerais e o valor encontrado por Tapia <i>apud</i> Manfredini (2005).....	34

---

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 - Características das Cerâmicas Utilizadoras de Fornos Intermitentes .....	10
Tabela 3-2 - Características das Cerâmicas Utilizadoras de Fornos Contínuos e Semi- Contínuos.....	17
Tabela 3-3 - Análises Químicas de pó de balão, ferrocoque e lodo de ETA .....	23
Tabela 3-4 - Uso de pó de balão e seqüestro de carbono .....	25
Tabela 3-5 - Uso do ferrocoque e seqüestro de carbono .....	26
Tabela 3-6 - Massa específica e poder calorífico inferior de combustíveis .....	27
Tabela 3-7 - Fatores de conversão para energia.....	28
Tabela 3-8 - Peso de produtos cerâmicos (tijolos e telhas) .....	28
Tabela 3-9 - Consumo energético mensal nas indústrias .....	29

---

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>USO DA ENERGIA NA INDÚSTRIA</b> .....	<b>2</b>
2.1	Eficiência Energética e Desenvolvimento Sustentável .....	2
2.2	Demanda de Lenha pela Indústria no Brasil e em Minas Gerais .....	3
<b>3</b>	<b>A INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA</b> .....	<b>8</b>
3.1	O Processo Produtivo da Cerâmica Vermelha .....	8
3.2	Características Gerais das Indústrias Cerâmicas .....	9
3.3	Tratamento Térmico das Peças Cerâmicas.....	18
3.4	Potencial de Seqüestro de Carbono.....	21
3.5	Cálculo do gasto energético na indústria de cerâmica vermelha .....	27
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>36</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>38</b>

---

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho complementa o escopo da atividade Plano de Ação para Adequação Ambiental e Energética das Indústrias de Cerâmica Vermelha no Estado de Minas Gerais e está direcionado para o conhecimento inicial da realidade energética desse setor industrial no Estado.

O objetivo do estudo é obter informações sobre processo de queima utilizado na produção da cerâmica vermelha no Estado, além do tipo e do consumo de insumos energéticos, por meio da avaliação, em termos energéticos, do processo de produção da cerâmica vermelha, em localidades selecionadas, a partir das informações obtidas no Sistema de Informações Ambientais da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SIAM e por meio de visitas técnicas aos empreendimentos.

A metodologia incluiu a obtenção de informações secundárias sobre as indústrias no SIAM, a seleção prévia das indústrias a partir de delineamento estatístico e o trabalho de campo com visita às indústrias e aplicação de um questionário elaborado pela equipe da Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento da Fundação Estadual do Meio Ambiente – DPED e da Gerência de Produção Sustentável – GPROD.

Para o cálculo da energia consumida na produção de cerâmica vermelha foi seguido o direcionamento proposto por Manfredini (2005), que considera no processo de cálculo, a soma dos gastos de energia elétrica na operação da indústria, do consumo de biomassa utilizado na queima e do consumo de óleo diesel nas diversas etapas da produção.

O consumo total de energia foi estimado a partir das informações sobre o consumo de cada energético, informado pelos empreendimentos, e de suas respectivas densidades e poderes caloríficos.

---

## 2 USO DA ENERGIA NA INDÚSTRIA

### 2.1 Eficiência Energética e Desenvolvimento Sustentável

Segundo o *US National Policy Development Group* (2001), citado por Menkes (2004), a eficiência energética é a capacidade de utilizar menos energia nas atividades que a consomem como iluminação, aquecimento, transporte e outros.

Considerando os aspectos conceituais da eficiência energética relacionada ao desenvolvimento sustentável, a maioria dos autores apontam essa ação como um dos instrumentos chave para a redução dos impactos ambientais em nível local, regional e global, especialmente no que se refere à redução das emissões de gases de efeito estufa.

Outros profissionais defendem que as medidas de eficiência energética, dependendo da forma e da sua aplicação – respeitados os padrões culturais, sociais, ambientais e especificidades locais – poderão contribuir para as metas de desenvolvimento sustentável trazendo conjuntamente o progresso econômico, a proteção e restauração dos sistemas ecológicos e melhorando a qualidade de vida das populações.

De acordo com a *Organization for Economic Co-operation and Development* - OECD (2000), citada por Menkes, (2004), o objetivo central de uma política que trata do uso de energia deve ser a de contribuir para o desenvolvimento sustentável da sociedade com as opções direcionadas para fontes de energia renováveis e a busca da eficiência energética.

Sachs (1993), citado por Menkes, (2004), mostra que a verdadeira escolha não é entre desenvolvimento e meio ambiente, mas entre formas de desenvolvimento sensíveis ou não ao meio ambiente.

A avaliação da sustentabilidade no setor energético pode ser realizada pelo uso de indicadores e a energia integra grande parte dos indicadores de sustentabilidade sugeridos por instituições que têm trabalhado o assunto.

---



A OECD (2000), citada por Menkes (2004), avalia, através de indicadores, o progresso do desenvolvimento sustentável no setor energético considerando relações de causa e efeito para:

- demanda e uso da energia com utilização de recursos naturais e danos ambientais;
- intensidade energética com poluição do ar e custo de controle ambiental;
- uso de mix energético relacionado à poluição das águas e programas tipo poluidor-pagador;
- desperdício de recursos naturais com estruturas de preço, ocupação da terra e avaliações de risco e segurança.

## **2.2 Demanda de Lenha pela Indústria no Brasil e em Minas Gerais**

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN, 2010), o gasto energético baseado no consumo de lenha do setor industrial, no período de 2000 a 2009, foi de  $5.344 \times 10^3$  tep em 2000 e alcançou  $6.563 \times 10^3$  tep no ano de 2009. No mesmo período, o setor de cerâmica, aumentou o consumo de  $1.629 \times 10^3$  tep para  $2.081 \times 10^3$  tep (BEN, 2010), respectivamente, o que representa um percentual em torno de 32% do total consumido pela indústria em termos nacionais.

Em Minas Gerais, o 24º Balanço Energético (BEEMG, 2009), realizado pela Companhia Energética de Minas Gerais S/A (CEMIG), indica que o gasto energético, com base no consumo de lenha, para o setor industrial, foi de  $846 \times 10^3$  tep no ano de 2000 e de  $808 \times 10^3$  tep no ano de 2008. No mesmo período, o consumo energético de lenha no setor de cerâmica foi de  $298 \times 10^3$  tep para  $329 \times 10^3$  tep, representando 41% do consumo do setor industrial.

Os levantamentos realizados durante o desenvolvimento da primeira fase do projeto, relativos aos requisitos ambientais, mostraram uma clara tendência de utilização de biomassa, de florestas plantadas de eucalipto, ou resíduos da indústria do processamento da madeira, como cavacos e serragem, além da utilização em menor proporção de pallets de madeira. Na região do Triângulo Mineiro, pela disponibilidade dos resíduos existentes,

---

são utilizados cavacos e serragem de pinus como combustível dos fornos da indústria de cerâmica vermelha.

De acordo com o Instituto de Desenvolvimento Integrado de Minas Gerais (INDI), citado por SEBRAE (2005-2007), o gasto com energia tem um peso significativo na produção da cerâmica vermelha, com participação de cerca de 21% dos custos totais de produção, principalmente, na aquisição de lenha e serragem de madeira, seguida de energia elétrica.

As participações dos itens de custo no custo total de produção da cerâmica vermelha podem ser observadas na Figura 2.1.

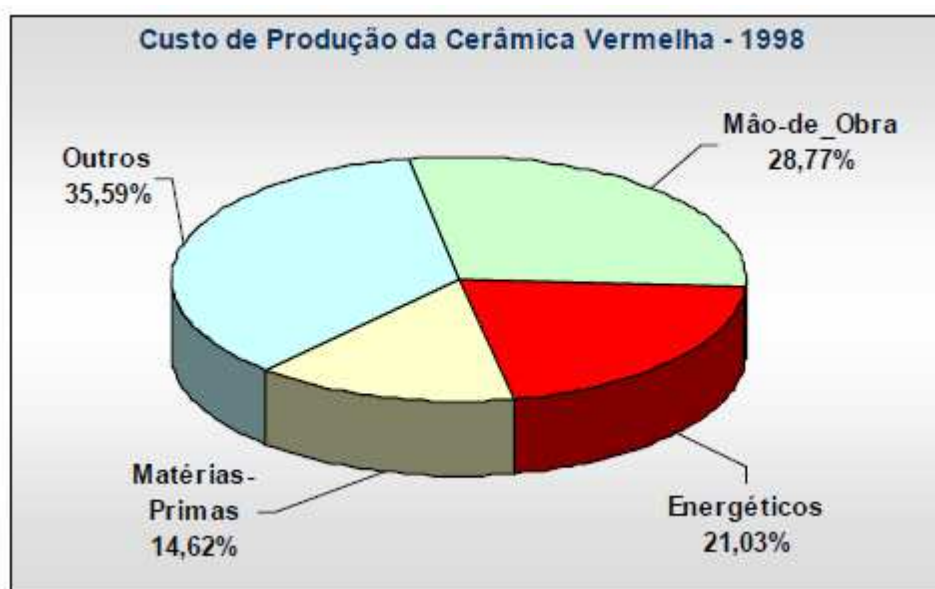


Figura 2-1 - Custos de produção da cerâmica vermelha em Minas Gerais

Fonte: INDI, citado por SEBRAE (2005).

Ainda segundo o SEBRAE (2005), a dependência do fornecimento de lenha é um fator de instabilidade na produção cerâmica, pois a sua aquisição vem encontrando dificuldades crescentes. Além disto, os ceramistas enfrentam a concorrência de outros setores industriais, também consumidores de madeira em seus processos como matéria-prima ou energético.

As informações contidas nas Figuras 2.2 e 2.3, que mostram a ocorrência de empreendimentos de cerâmica e plantios de eucalipto no Estado de Minas Gerais, mais

especificamente nos municípios sob a jurisdição da Superintendência Regional de Regularização Ambiental Central Metropolitana – SUPRAM Central, evidenciam a ausência de plantios de eucalipto nas áreas de maior concentração de cerâmicas, certamente devido ao alto valor das áreas disponíveis. Os maiores plantios situam-se ao norte onde é menor a concentração de cerâmicas e, normalmente, esse material é direcionado para a produção de carvão vegetal.

Outro fator importante a ser considerado é a produtividade dos plantios que, também, terá influência na oferta de lenha. Segundo a Embrapa Florestas (2002), a produtividade média do eucalipto, no Brasil, está em torno de 35 m<sup>3</sup>/ha.ano, o que é um rendimento, atualmente, considerado baixo pela pesquisa florestal. Existem plantios com melhores tecnologias, que atingem 60 m<sup>3</sup>/ha.ano, e mesmo produtividades mais elevadas como acontece com alguns empreendimentos que se utilizam de técnicas de melhoria genética e manejo florestal mais avançado, obtendo um stand mais elevado de produção.

O fornecimento de lenha de eucalipto para as cerâmicas que se encontram na região sob a jurisdição da SUPRAM Central, principalmente aquelas próximas à Belo Horizonte, têm um custo mais elevado de aquisição pela distância em que se encontram dos plantios e, também, pela concorrência de outros setores industriais pelo mesmo produto.

Isso, evidentemente, se constitui em um fator negativo para a sustentabilidade da produção cerâmica como também, em termos ambientais, no que se refere à manutenção *in situ* dos estoques de vegetação nativa. Cabe ainda lembrar que o consumo de lenha, em Minas Gerais, pelo setor ceramista, alcançou, em 2008/2009, um valor significativo do total consumido pela indústria mineira.

---

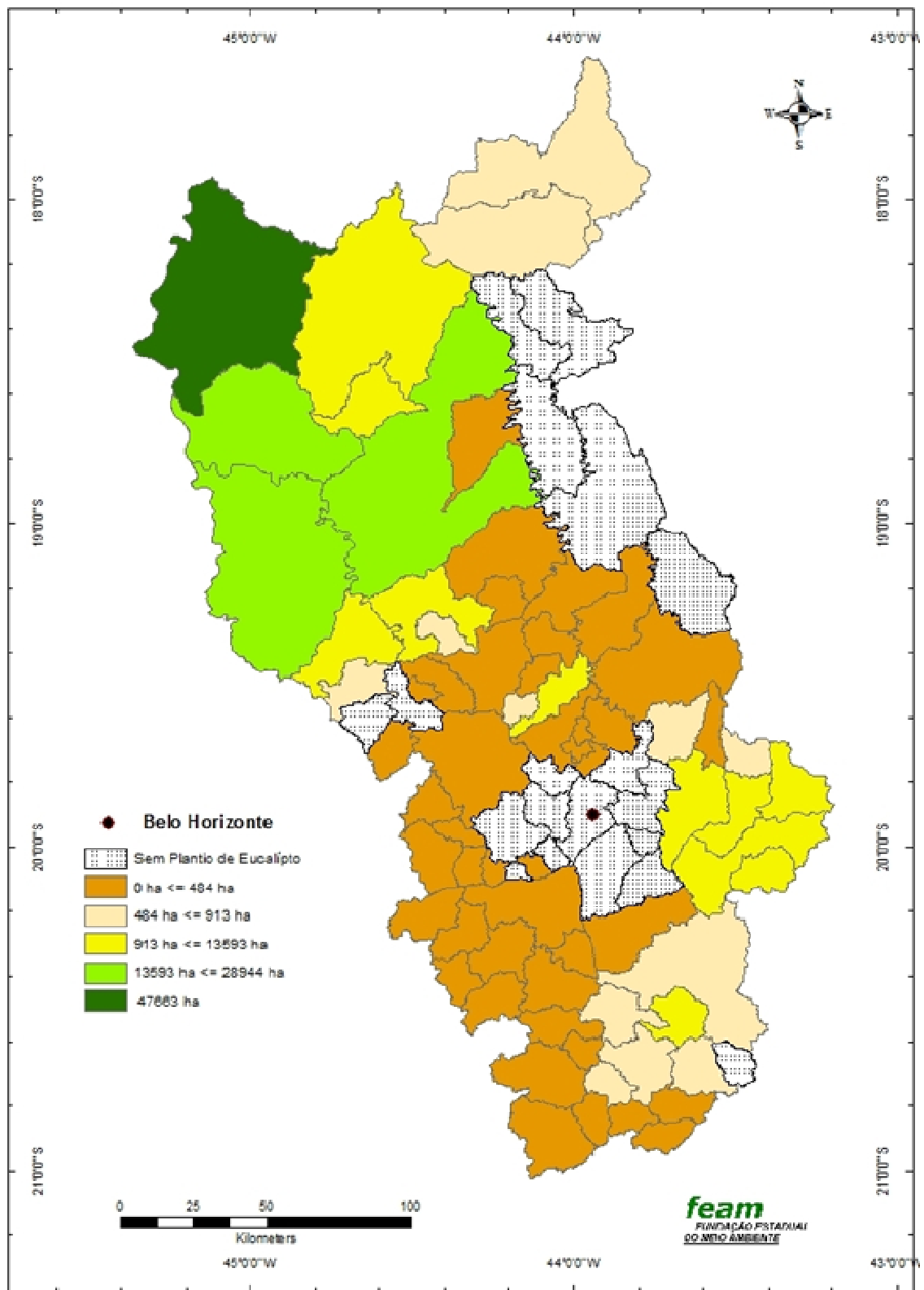


Figura 2-2 - Plantios de eucalipto nos municípios sob a jurisdição da SUPRAM Central

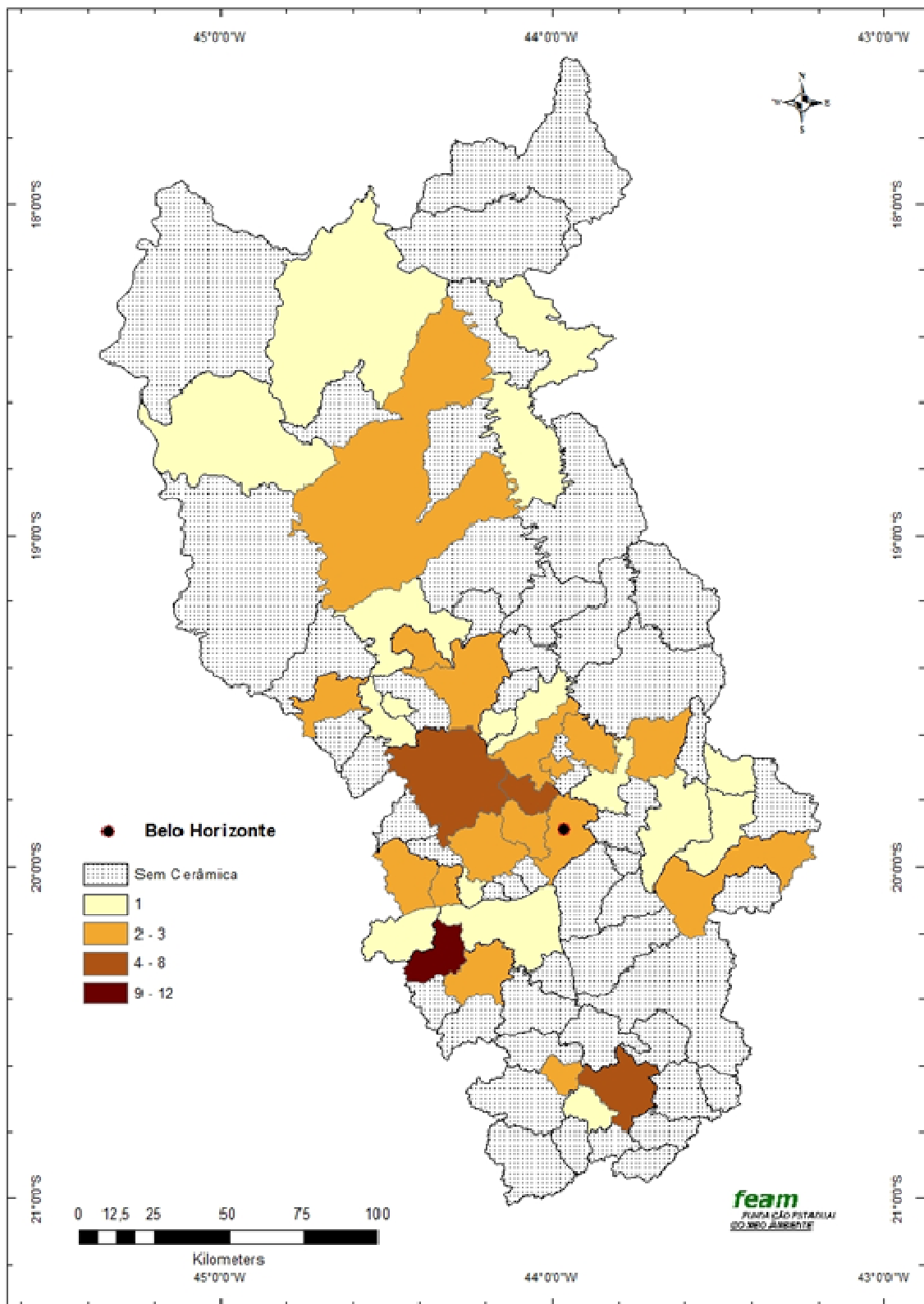


Figura 2-3 - Ocorrência de cerâmicas vermelhas nos municípios sob a jurisdição da SUPRAM Central

### 3 A INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA

#### 3.1 O Processo Produtivo da Cerâmica Vermelha

Os produtos deste setor caracterizam-se por sua cor vermelha e são representados por tijolos, blocos, telhas, tubos, lajes para forro, lajotas, vasos ornamentais, agregados leves de argila expandida e outros. Os principais setores cerâmicos, matérias-primas e processos de fabricação podem ser observados na Figura 3.1.

Classificação		Produto	Matéria-prima								Moagem		Processo de				Temperatura de Queima ( C )									
Tipo de	Grupo**/ Setor		Plástica			Não -Plástica							via úmida	via seca	Extrusão	Tornearia	Prensagem	Colagem	800	900	1.000	1.100	1.200	> 1.200		
			Argila	Argila	Caulim	Feldspato	Filito	Talco	Calcário	Quartzo	Outros															
Cerâmica silicática de base argilosa (ou tradicional)	1	Cerâmica Vermelha	Blocos, lajes	P										P												
			Telha	P				O							P	P										
			Agregado leve	P								O			P											
	2	Cerâmica Branca	Grês Sanitário		P	S	P	O			S	O	P													
			Porcelana Mesa		P	P					P		P		S	S	O									
			Porcelana Eletr.		P	P					P		P		S	S	O									
			Faiança		P	O	S	S	S	P	S		P				P									
	3	Revestimentos	Pisos Rústicos	P								O		P												
			Pisos via Seca	P									P			P										
			Azulejo		P	P			O	S	S		P			P										
			Piso Gresificado	O	P	S	S	P	O		S		P		O	P										
			Grês Porcelânico		P	S	P		O		S	O	P			P										
	Outros	4	Refratários			O					O	P														
		5	Isolantes			O					O	P														
		6	Especiais								O	P														
7		Cimento	S						P	S	O	P														
8		Vidro							S	P	P															

P = Processo ou composição principal (> 20 %)      S = Processo ou composição secundária (< 10%)      O = Processo ou composição ocasional

Figura 3-1 - Setores cerâmicos, matérias primas e processos de fabricação.

Fonte: Cerâmica Industrial, 2001.

Durante o desenvolvimento deste projeto foram observadas, de modo geral, as seguintes etapas do processo produtivo:

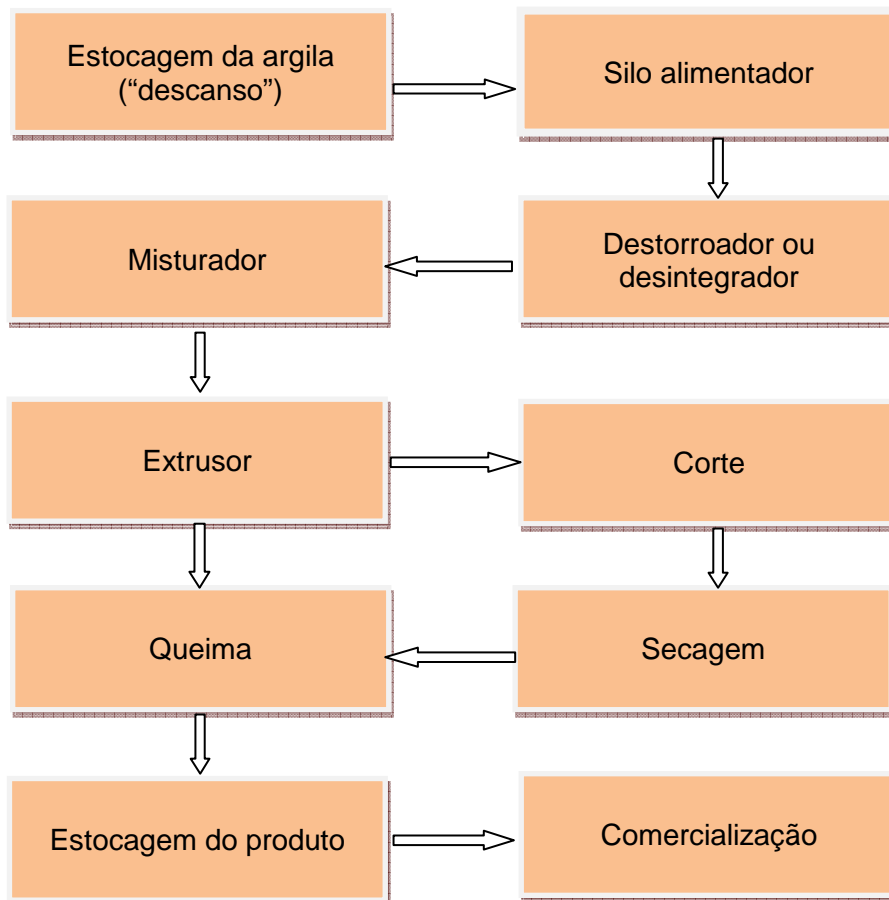


Figura 3-2 - Processo produtivo da cerâmica vermelha

### 3.2 Características Gerais das Indústrias Cerâmicas

Os levantamentos realizados permitiram conhecimento geral dos empreendimentos, bem como as suas demandas de recursos naturais, energéticos e, alguns impactos de sua operação.

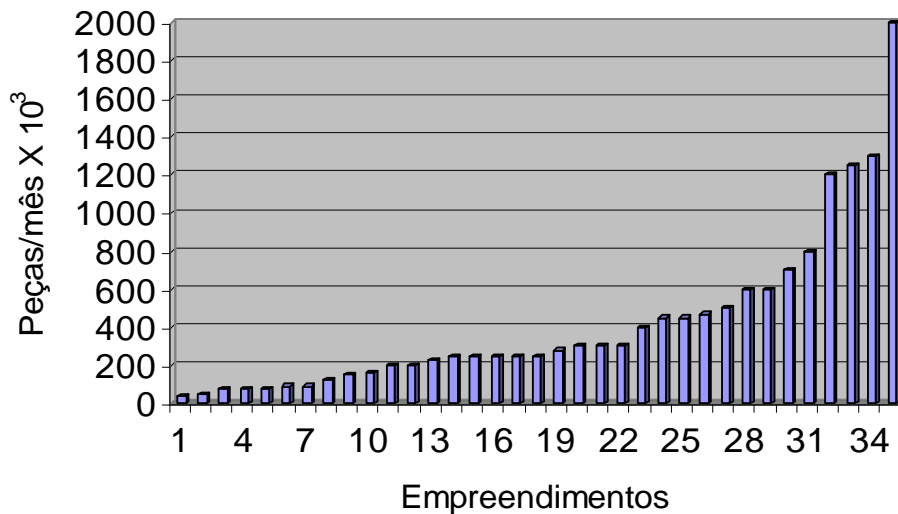
A Tabela 3.1 ilustra as informações obtidas em cerâmicas localizadas em alguns municípios de Minas Gerais, classificadas de acordo com a tecnologia de queima. A identificação dos empreendimentos foi feita através da atribuição de um código a cada uma delas. Os empreendimentos listados na Tabela 3.1 utilizam fornos intermitentes, a secagem, em sua maioria, é realizada em ambiente e 11 possuem recuperadores de calor.

Tabela 3-1 - Características das Cerâmicas Utilizadoras de Fornos Intermitentes

Empresa	Município	Produto	Produção (peças/mês) 10 <sup>3</sup>	Tipo de Secagem	Combustível	Recuperação de Calor
PA 01	Pará de Minas	Tijolos furados	1.200	Forçada (ventiladores)	Lenha (eucalipto) e serragem	Não
IGA 01	Igaratinga	Tijolos furados	500	Temperatura ambiente	Lenha (eucalipto)	Não
IGA 02	Igaratinga	Tijolos furados	2.000	Forçada (ventiladores)	Lenha (eucalipto) e pallets	Sim
IGA 03	Igaratinga	Tijolos furados	450	Forçada (ventiladores)	Serragem	Não
IGA 04	Igaratinga	Tijolos furados	600	Temperatura ambiente	Lenha (eucalipto) e serragem	Não
IGA 05	Igaratinga	Tijolos furados	300	Temperatura ambiente	Lenha (eucalipto)	Não
IGA 06	Igaratinga	Tijolos furados	280	Temperatura ambiente	Lenha (eucalipto) e pallets	Não
IGA 07	Igaratinga	Tijolos furados	250	Temperatura ambiente	Lenha (eucalipto)	Não
IGA 08	Igaratinga	Tijolos furados	100	Temperatura ambiente	Lenha(eucalipto)	Não
IGA 09	Igaratinga	Tijolos furados	300	Temperatura ambiente	Lenha (eucalipto)	Não
IGA 10	Igaratinga	Tijolos furados	300	Temperatura ambiente	Lenha (eucalipto) epallets	Não
IGA 11	Igaratinga	Tijolos furados	90	Temperatura ambiente	Lenha (eucalipto) e serragem	Não
IGA 12	Igaratinga	Tijolos furados	80	Temperatura ambiente	Lenha (eucalipto)	Não
IGA 13	Igaratinga	Tijolos furados	150	Temperatura ambiente	Lenha (eucalipto) e pallets	Não
ESMER 02	Esmeraldas	Tijolos furados	90	Temperatura ambiente	Lenha (eucalipto, outras) e pallets	Não
ESMER 03	Esmeraldas	Tijolos furados	120	Temperatura ambiente	Lenha (variada)	Não
SANJO 02	São José da Lapa	Tijolos maciços	250	Temperatura ambiente	Lenha (eucalipto e casqueiro)	Não
SETE 03	Sete Lagoas	Tijolos furados	75	Temperatura ambiente	Lenha (variada) e pallets	Não
LAGOSAN 01	Lagoa Santa	Tijolos maciços	50	Temperatura ambiente	Lenha (eucalipto) e pallets	Não
MATE 01	Mateus Leme	Tijolos furados	40	Temperatura ambiente	Lenha (eucalipto) e pallets	Não
BET 01	Betim	Tijolos furados	250	Temperatura ambiente	Pallets	Não
PARA 01	Paraopeba	Tijolos furados e telhas	600	Temperatura ambiente (tijolos) e Forçada (telhas)	Serragem e cavacos (eucalipto e pinus)	Sim
RIMAN 01	Rio Manso	Tijolos furados	250	Temperatura ambiente	Lenha (eucalipto)	Não
RIMAN 02	Rio Manso	Tijolos furados	230	Temperatura ambiente	Lenha (eucalipto)	Não
RIMAN 03	Rio Manso	Tijolos furados	200	Temperatura ambiente	Lenha (eucalipto) e pallets	Não
TAQUA 01	Taquaraçu de Minas	Tijolos furados	160	Temperatura ambiente	Lenha (eucalipto, nativa)	Não
MONCAR 01	Monte Carmelo	Telhas	1.300	Forçada (estufa)	Serragem	Sim
MONCAR 02	Monte Carmelo	Tijolos	700	Forçada (estufa)	Serragem	Sim
MONCAR 03	Monte Carmelo	Telhas	800	Secagem em galpão	Serragem	Sim
MONCAR 04	Monte Carmelo	Telhas	1.250	Secagem em estufa	Cavaco (pinus)	Sim
ITU 01	Ituiutaba	Telhas e tijolos furados	80	Forçada (secador)	Lenha (eucalipto)	Sim
ITU 02	Ituiutaba	Telhas	250	Forçada (secador)	Lenha (nativa)	Sim
ITU 03	Ituiutaba	Telhas e tijolos	470	Forçada (secador)	Serragem e cavaco (pinus)	Sim
ITU 04	Ituiutaba	Telhas e tijolos furados	450	Forçada (secador)	Serragem (pinus)	Sim
ITU 05	Ituiutaba	Telhas	400	Forçada (estufa)	Lenha (nativa)	Sim



Na Figura 3.3 estão apresentadas as produções, em milhares de peças por mês, dos empreendimentos pesquisados, que utilizam fornos intermitentes.



**Figura 3-3 – Produção Cerâmica em Fornos Intermitentes**

O padrão dos fornos intermitentes, que têm denominação comum de “abóboda”, pode ser visualizado nas Figuras 3.4, 3.5 e 3.6.

Uma característica clara do conjunto das cerâmicas pesquisadas é a predominância de empreendimentos de pequeno porte em contraste àqueles de maior capacidade de produção. Na Figura 3.3 se pode observar que, cerca de 80% das indústrias pesquisadas, têm produção de até  $600 \times 10^3$  peças/mês. As demais estão acima dessa faixa.

Os principais produtos são o tijolo furado, principalmente o de dimensões 9x19x29 cm, e as telhas de diversas características.

Um aspecto importante, para a composição dos custos de produção e, também para a relação que configura a intensidade energética na indústria, é o padrão de secagem dos produtos antes da queima. A maioria dos empreendimentos se utiliza do processo em estufas com lonas plásticas (Figura 3.7), sem gasto de energia, mas com um período de secagem em torno de 7 dias para completar a redução necessária de umidade dos tijolos antes da queima.



**Figura 3-4 - Forno Abóboda com alimentador para queima de serragem.**

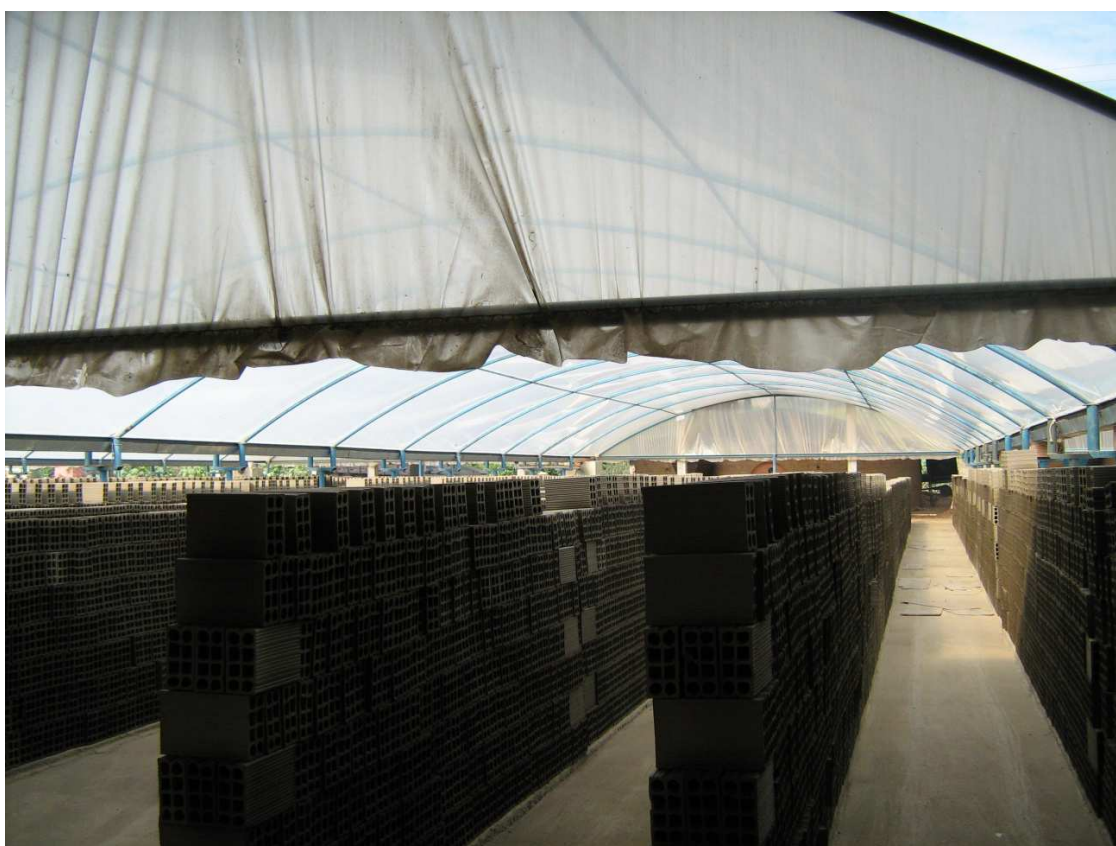


**Figura 3-5 - Forno Abóboda mostrando as dimensões das entradas em relação a um referencial humano mediano.**





**Figura 3-6 - Detalhe do queimador lateral de um forno abóboda**



**Figura 3-7 - Secador em temperatura ambiente com cobertura plástica**

Os outros empreendimentos, aqueles de maior capacidade de produção, mais intensos no uso de recursos naturais e com compromissos de entrega de produtos mais amplos, tem a secagem forçada por ventiladores ou em estufa e secadores com o aproveitamento do calor dos fornos após a queima (Figuras 3.8 e 3.9), como se encontra na região de Monte Carmelo e Ituiutaba. A utilização de ventiladores aumenta o gasto de energia elétrica, enquanto o aproveitamento do calor dos fornos favorece um menor gasto energético e melhor aproveitamento dos recursos naturais renováveis consumidos na queima. Duas ações, na mesma etapa produtiva, utilizadas para dar dinamismo à produção, mas com resultados em direções opostas em termos de eficiência energética.

No aspecto dos combustíveis para os fornos, foi encontrado apenas o uso de biomassa, como lenha de eucalipto, serragem e cavacos de eucalipto e pinus (este último predomina na região de Monte Carmelo e Ituiutaba) e, em menor proporção a queima de pallet (Figura 3.10).



**Figura 3-8 - Secagem forçada com ventiladores em galpão**





**Figura 3-9 - Aproveitamento de calor de forno abóboda**



**Figura 3-10 - Uso de pallet como combustível em fornos cerâmicos**

A Tabela 3.2 reúne as informações obtidas em cerâmicas que possuem fornos contínuos e semi contínuos.

Tabela 3-2 - Características das Cerâmicas Utilizadoras de Fornos Contínuos e Semi- Contínuos

Empresa	Município	Produto	Produção (peças/mês) 10 <sup>3</sup>	Tipo de Secagem	Tipo de Forno	Combustível	Recuperação de calor
RIB 01	Ribeirão das Neves	Tijolos furados	230	Temperatura ambiente	Contínuos	Lenha (eucalipto)	Não
RIB 02	Ribeirão das Neves	Tijolos furados	200	Temperatura ambiente	Contínuos	Lenha (eucalipto)	Não
RIB 03	Ribeirão das Neves	Tijolos furados	500	Temperatura ambiente	Contínuo	Serragem	Não
RIB 04	Ribeirão das Neves	Tijolos furados	450	Temperatura ambiente	Contínuo	Lenha (eucalipto) e serragem	Não
RIB 05	Ribeirão das Neves	Tijolos	1.000	Forçada (estufa)	Contínuos	Pallet	Sim
RIB 06	Ribeirão das Neves	Mix de produtos	12.000 t argila/mês	Secadores contínuos	Contínuo	Serragem	Sim
RIB 07	Ribeirão das Neves	Mix de produtos	8.000 t argila/mês	Secadores contínuos	Contínuos	Serragem	Sim
TAQUA 02	Taquaraçu de Minas	Tijolos furados	200	Temperatura ambiente	Semi-contínuo	Lenha (eucalipto)	Não
ESMER 01	Esmeraldas	Tijolos furados e lajotas	180	Temperatura ambiente	Semi-contínuo e intermitente	Lenha (eucalipto)	Não
ESMER 04	Esmeraldas	Tijolos furados e lajotas	100	Temperatura ambiente	Contínuo	Resíduos de construção civil, pallets e cavacos	Não
ESMER 05	Esmeraldas	Tijolos furados	420	Temperatura ambiente	Semi-contínuos	Lenha (eucalipto e nativa)	Não
SANJO 0	São José da Lapa	Tijolos furados	450	Temperatura ambiente	Contínuo e intermitente	Serragem	Não
CAE 01	Caetanópolis	Tijolos furados	80	Temperatura ambiente	Semi-contínuo	Lenha (eucalipto)	Não
SETE 01	Sete Lagoas	Tijolos furados e telhas	4.000	Forçada (estufa)	Contínuos e intermitente	Lenha (eucalipto) e serragem	Sim
SETE 02	Sete Lagoas	Tijolos	200	Temperatura ambiente	Contínuo e intermitente	Serragem	Não
MAT 01	Matozinhos	Tijolos furados	800	Forçada (secador) Temperatura ambiente e túnel	Contínuo	Pallets	Sim



Da mesma forma que a distribuição anterior, como mostrado na Figura 3.11, também, nesse caso, predominam os empreendimentos de menor porte. Em torno de 61% desses empreendimentos pesquisadas produzem até  $500 \times 10^3$  peças/mês. Não entraram neste gráfico, em função da escala, duas empresas (RIB 06 e RIB 07) que possuem uma extensa lista de produtos consumindo, respectivamente, 12.000 e 8.000 t de argila/mês.

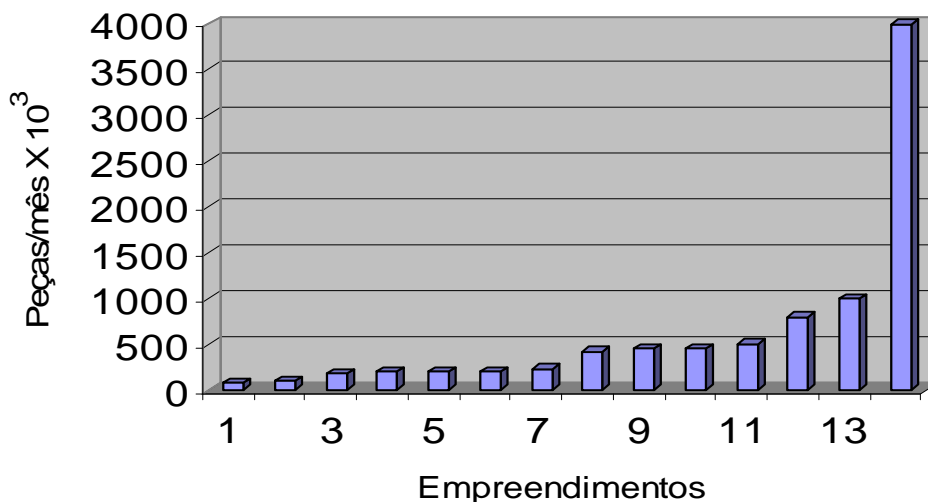


Figura 3-11 – Produção Cerâmica em Fornos Contínuos/Semi-Contínuos

Também, entre estas, predomina a produção de tijolos furados, exceto em dois empreendimentos que possuem um mix extenso de produtos. A secagem dos produtos é realizada em coberturas ou estufas plásticas, mas também em secadores e estufas, com recirculação do calor dos fornos, especialmente nos empreendimentos de maior porte. Os combustíveis utilizados são a biomassa de eucalipto, cavacos, serragem, pallet e, em menor proporção, lenha oriunda de mata nativa.

### 3.3 Tratamento Térmico das Peças Cerâmicas

É a etapa onde as peças, após conformadas, são submetidas ao efeito do aumento de temperatura. O processamento térmico compreende a secagem e a queima que têm, conjuntamente, grande influência na obtenção de um produto de qualidade.



Após a conformação, é necessário que a secagem seja feita de forma lenta e gradual a fim de evitar o surgimento de defeitos nas peças. Para isso, os secadores, intermitentes ou contínuos, devem operar em uma faixa de temperatura de 50°C a 150°C.

Na secagem natural bem mais lenta e empírica, podem ocorrer situações que provoquem o aparecimento de tensões e trincas inviabilizando a queima das peças.

Neste trabalho, como já comentado anteriormente, foi observada a predominância da secagem em estufas de lona plástica, com período de duração em torno de 7 dias (Figura 3.8). É possível notar, na imagem, que a distribuição das peças no secador permite uma adequada circulação de ar entre as leiras de tijolos. Essa prática não requer gastos energéticos de fontes primárias.

A utilização de secadores com controle de temperatura está restrita aos empreendimentos de maior porte como também à atividade de fabricação de telhas, segundo o levantamento realizado. A secagem bem conduzida é importante para minimizar a geração de resíduos crus e melhor aproveitamento da argila. O material defeituoso deve ser reintroduzido na linha de produção. Esse reaproveitamento, no entanto, gera uma atividade a mais a ser realizada pelo empreendimento e um custo adicional ao produto.

No levantamento de dados primários deste projeto constatamos foi constatado que o reaproveitamento do material cru defeituoso é uma prática rotineira, sendo importante o aprimoramento dessa etapa produtiva.

A queima ou sinterização é o processo em que o calor provoca transformações estruturais e químicas na massa argilosa, modificando as características de cru em propriedades cerâmicas (resistência, cor e outros).

O tratamento térmico pode ser realizado em fornos intermitentes, contínuos e semi-contínuos e tem, normalmente, três fases; a) aquecimento até a temperatura desejada, b) permanência durante certo tempo à temperatura especificada e c) resfriamento.

---

Uma curva de queima bem definida está diretamente relacionada à qualidade do produto final, aumento da produtividade e redução do consumo específico de energia térmica, colocando esse processo como uma das etapas mais importantes do processamento cerâmico.

Na operação do forno cerâmico é importante controlar a velocidade de aumento e diminuição da temperatura no tempo, para evitar deformações, fissuras e quebras, peças queimadas em excesso. Temperaturas muito baixas ou tempos de queima muito curtos, resultam na ocorrência de produtos crus, principalmente, nos pontos mais frios do forno (Santos, 2000).

Dutra (2006) apresenta os principais intervalos de temperatura relacionados às transformações que são: (1) 100°C – 160°C perda de água livre, seja por capilaridade ou adsorvida na superfície externa dos argilo-minerais; (2) 200°C – 800°C decomposição de hidróxidos e outros minerais que contém água estrutural; (3) 305°C – 410°C combustão da matéria orgânica; (4) 500°C – 1200°C decomposição de sulfatos, carbonatos, entre outros compostos que contém oxigênio; (5) 565°C – 575°C transição de fase do quartzo alfa para o quartzo beta; (6) superior a 800°C destruição da estrutura cristalina e (7) superior a 850°C recristalização da estrutura cristalina e sinterização.

Fica evidente que a operação adequada do forno durante a queima tem importância não só na qualidade do produto, mas também na incorporação adequada dos resíduos siderúrgicos na massa da argila, quando estes são usados, e na redução de emissões atmosféricas poluidoras devido à combustão incompleta da lenha.

Como as cerâmicas pesquisadas utilizam resíduos siderúrgicos denominados “pó de balão” (pó originado no sistema de limpeza de gases da siderurgia não-integrada) e “fercoque” (lama proveniente do sistema de limpeza de gases de alto forno da siderurgia integrada) é importante que o patamar de temperatura na queima alcance a faixa dos 850°C para se obter a incorporação definitiva dos resíduos na massa da argila. Para isto, entre outros aspectos, as medições de temperatura com o uso de termopares são importantes.

---

O uso de termopares, segundo o relato dos ceramistas, reduz de forma significativa, o tempo de queima e o volume de lenha utilizado como combustível. A princípio essa prática parece ser um fator positivo para a redução no consumo energético da produção das peças cerâmicas como, também, no seqüestro de carbono contido nesses materiais, além da redução do possível passivo ambiental relacionado ao estoque atual desses resíduos siderúrgicos.

Vieira (2007) estudou o uso de resíduos na produção cerâmica caracterizando e avaliando a influência da incorporação da lama de alto forno (fercoque), proveniente de uma indústria siderúrgica integrada, nas propriedades e microestrutura de uma massa argilosa utilizada na fabricação de cerâmica vermelha. O estudo evidenciou a possibilidade do uso da lama de alto forno na mistura com a massa argilosa em percentuais abaixo de 5%, em peso.

### **3.4 Potencial de Seqüestro de Carbono**

Ainda não é possível uma análise definitiva sobre o sequestro de carbono pelas indústrias ceramistas necessitando de estudos adicionais, como a avaliação do teor de carbono presente no tijolo queimado considerando a presença desse elemento nos insumos utilizados para a fabricação do produto cerâmico (argila + resíduo).

Souza *et al* (2008) avaliou, em escala de laboratório, as concentrações dos gases emitidos durante o processo de queima de cerâmica vermelha incorporada com resíduo (lodo) de estação de tratamento de água constituído, basicamente, por sílica ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Foram testadas duas dosagens de lodo de ETA (15% e 100% em peso) comparadas a uma amostra de argila sem resíduo. Os resultados de emissão de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) podem ser observados na Figura 3.12.

---

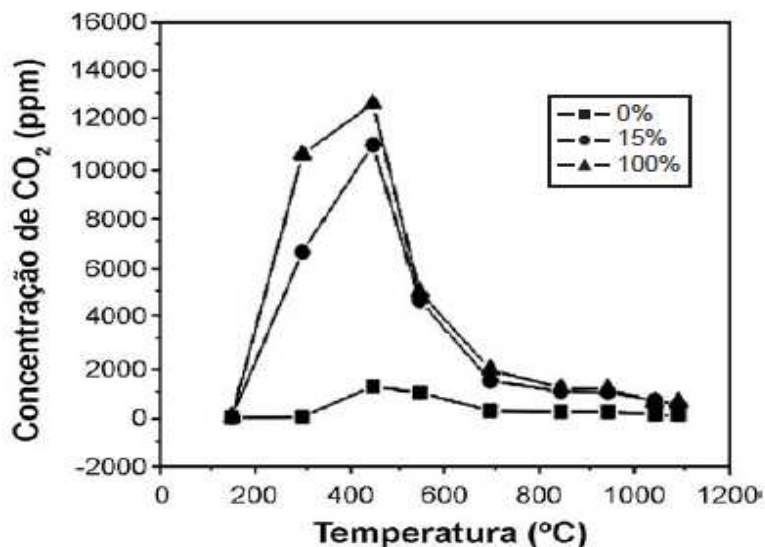


Figura 3-12 - Emissão de CO<sub>2</sub> em amostras de argila com lodo de ETA

Fonte: Souza *et al*, 2008.

O pico máximo de emissão de CO<sub>2</sub>, em torno dos 450 °C segundo o trabalho citado, está relacionado à decomposição e quebra das cadeias de carbono da matéria orgânica. Ainda segundo os mesmos autores, o lodo de estações de tratamento de águas têm, de modo geral, teores significativos de matéria orgânica.

Importante destacar que em torno de 850°C, o gráfico da Figura 3.12 não mostra diferenças importantes entre as emissões nas três amostras testadas.

Na Tabela 3.3 pode ser observada a comparação entre o lodo da ETA e o pó de balão e o fercoque.

Os resultados analíticos do pó de balão foram obtidos no relatório de pesquisa, “Uso Agrícola do Pó de Balão e da Lama do Sistema de Limpeza de Gases de Altos-Fornos a Carvão Vegetal” (Souza, 2006). Os resultados do fercoque foram obtidos, através de consulta à Usiminas, que enviou os resultados analíticos por meio eletrônico. Os resultados do lodo de ETA foram obtidos no trabalho intitulado “Análise dos Gases Poluentes Liberados Durante a Queima de Cerâmica Vermelha Incorporada com Lodo de Estação de Tratamento de Água” (Souza, 2008). A soma das substâncias SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> constitui a maior participação percentual nos três resíduos.

**Tabela 3-3 - Análises Químicas de pó de balão, fercoque e lodo de ETA**

<b>Constituintes (% peso)</b>	<b>Pó de Balão</b>	<b>Fercoque</b>	<b>Lodo de ETA</b>
SiO <sub>2</sub>	2,95	4,94	37,03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,15	2,22	32,69
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	62,25	57,91	13,05
TiO <sub>2</sub>	0,06	0,12	1,13
CaO	0,83	2,97	0,10
MgO	***	0,77	0,39
K <sub>2</sub> O	0,33	0,29	0,60
Na <sub>2</sub> O	***	1,18	0,06
ZnO	***	0,51	***
MnO	0,35	0,54	0,10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,47	0,15	0,36
SO <sub>3</sub>	0,03	1,89	***
C	30	24,5	***

Fonte: Usiminas, 2010; Caetano Souza *et al*, 2006; Souza, 2008.

Souza (2008), apesar de afirmar que o lodo de estações de tratamento de águas tem, de modo geral, teores significativos de matéria orgânica, não determinou esse constituinte no material avaliado. Os outros dois resíduos possuem 30% (pó de balão) e 24,5% (fercoque) de carbono orgânico segundo as determinações realizadas nos dois materiais.

A princípio pode-se estimar que o pó de balão e o fercoque, quando na mistura com argila e queimados em fornos cerâmicos, apresentarão um comportamento similar àquele observado por Souza (2008), com o lodo de ETA, em virtude do teor de carbono orgânico dos dois materiais. Esse comportamento diz respeito ao pico de emissão de CO<sub>2</sub> em torno dos 450°C e sem diferença significativa na faixa de 850°C das amostras de argila sem resíduo.

A fim de avaliar a massa de carbono que permanecerá definitivamente incorporada ao tijolo (argila + resíduo) após a queima deverá ser conduzido um trabalho visando a avaliação do teor de C na argila, no resíduo, no tijolo cru (argila + resíduo) e finalmente no tijolo queimado. O trabalho deverá ser feito por amostragem em

indústrias que utilizam termopares e em outras que não possuem controle de temperatura.

As Tabelas 3.4 e 3.5 mostram uma estimativa do teor de carbono incorporado, mensalmente, na massa de argila, a partir da mistura com os resíduos pó de balão e fercoque. As informações primárias, relativas ao número de peças produzidas e a quantidade de resíduos utilizados mensalmente, foram obtidas durante o período de levantamento de dados nas indústrias.

Uma análise geral dos valores de  $\text{Teq CO}_2/\text{mês}$  indica que a produção de cerâmica vermelha em Minas Gerais, principalmente aquela que incorpora resíduos siderúrgicos na mistura com a argila, é uma atividade que, a princípio, pode estar sendo um importante sumidouro de carbono. Além disto, a utilização dos resíduos reintroduz esses materiais no ciclo produtivo permitindo a sua valoração e a redução do passivo ambiental existente.

Tabela 3-4 - Uso de pó de balão e seqüestro de carbono

Empresa	Município	Peças/mês (10 <sup>3</sup> )	Tipo de Forno	Resíduo (t/mês)	C (t/mês)	TeqCO <sub>2</sub> /mês
PA 01	Pará de Minas	1.200	Intermitente	300	90	330
IGA 01	Igaratinga	500	Intermitente	90	27	99
IGA 02	Igaratinga	2.000	Intermitente	350	105	385
IGA 03	Igaratinga	450	Intermitente	180	54	198
IGA 04	Igaratinga	600	Intermitente	250	75	275
IGA 05	Igaratinga	300	Intermitente	90	27	99
IGA 06	Igaratinga	280	Intermitente	90	27	99
IGA 07	Igaratinga	250	Intermitente	120	36	132
IGA 08	Igaratinga	100	Intermitente	120	36	132
IGA 09	Igaratinga	300	Intermitente	150	45	165
IGA 10	Igaratinga	300	Intermitente	120	36	132
IGA 11	Igaratinga	90	Intermitente	80	24	88
IGA 12	Igaratinga	80	Intermitente	40	12	44
IGA 13	Igaratinga	150	Intermitente	150	45	165
ESMER 02	Esmeraldas	90	Intermitente	48	4,4	52,8
ESMER 03	Esmeraldas	120	Intermitente	25	7,5	27,5
ESMER 05	Esmeraldas	420	Semi-contínuo	200	60	220
SANJO 02	São José da Lapa	250	Intermitente	24	7,2	26,4
BET 01	Betim	200	Intermitente	10	3	11
PARA 01	Paraopeba	50	Intermitente	120	36	132
RIMAN 01	Rio Manso	250	Intermitente	90	27	99
RIMAN 02	Rio Manso	230	Intermitente	35	10,5	38,5
RIMAN 03	Rio Manso	200	Intermitente	80	24	88
TAQUA 01	Taquaraçu de Minas	160	Intermitente	70	21	77
TAQUA 02	Taquaraçu de Minas	200	Semi-contínuo	70	21	77
RIB 01	Ribeirão das Neves	230	Contínuo	100	30	110
CAE 01	Caetanópolis	80	Semi-contínuo	20	6	22
SETE 02	Sete Lagoas	200	Contínuo, Intermitente	25 m <sup>3</sup>	-	-
MAT 01	Mateus Leme	40	Intermitente	8	2,4	8,8

Tabela 3-5 - Uso do ferrocoque e seqüestro de carbono

Empresa	Município	Peças/mês (10 <sup>3</sup> )	Tipo de Forno	Resíduo (t/mês)	C (t/mês)	TeqCO <sub>2</sub> /mês
RIB 02	Ribeirão das Neves	200	Contínuo	108	26,46	97,02
RIB 03	Ribeirão das Neves	500	Contínuo	108	26,46	97,02
RIB 04	Ribeirão das Neves	450	Contínuo	100	24,50	89,80
RIB 05	Ribeirão das Neves	1.000	Contínuo	150	36,75	134,75
RIB 06	Ribeirão das Neves	12.000 t/mês (argila queimada)	Contínuo e Intermitente	600	147,00	539,00
RIB 07	Ribeirão das Neves	8.000 t/mês (argila queimada)	Contínuo	900	220,50	808,50
ESMER 01	Esmeraldas	180	Semi-contínuo e Intermitente	27	6,60	24,20
SANJO 01	São José da Lapa	450	Contínuo e Intermitente	50	12,25	45,00
SETE 01	Sete Lagoas	4.000	Contínuo e Intermitente	300	73,50	269,50
SETE 02	Sete Lagoas	200	Contínuo e Intermitente	82,5	20,20	74,00



### 3.5 Cálculo do gasto energético na indústria de cerâmica vermelha

A indústria cerâmica utiliza grandes quantidades de energia no processo produtivo e esta representa uma parcela significativa no custo final dos produtos. Assim, a eficiência energética torna-se importante para a redução das emissões atmosféricas e dos gases de efeito estufa.

Uma avaliação energética foi realizada para as cerâmicas descritas e é apresentada na Tabela 3.9. As informações de consumo de energia elétrica, lenha e óleo diesel foram obtidas nas unidades industriais durante a fase de levantamento de dados primários deste projeto.

A referência para a conversão energética e de unidades de medida dos insumos foram o Balanço Energético Nacional – 2010, ano base 2009, e o 24º Balanço Energético de Minas Gerais – CEMIG 2009, ano base 2008.

Também foram utilizadas referências indicadas pelas indústrias e que são utilizadas no seu processo de queima. Outra referência para a estimativa da energia incorporada aos materiais cerâmicos foi a citada por Manfredini (2005).

**Tabela 3-6 - Massa específica e poder calorífico inferior de combustíveis**

<b>Combustíveis</b>	<b>Massa Específica (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Poder Calorífico Inferior - PCI (kcal/kg)</b>
Lenha catada	300	3.100
Lenha comercial	390	3.100
Óleo diesel	840	10.100
Serragem e Cavacos	550	2.500
Serragem	300	2.500
Serragem (pinus)	600	2.400

Fontes: Adaptado de BEN 2010; 24º BEEMG; Manfredini, 2005; Empreendimentos Industriais, 2011.

Tabela 3-7 - Fatores de conversão para energia

<b>Parâmetros</b>	<b>Caloria (cal)</b>	<b>Quilowatt-hora (kwh)</b>
Quilowatt – hora (kwh)	$860 \times 10^3$	1
Caloria (cal)	1	$1,163 \times 10^{-6}$

Fonte: BEN,2010, e 24º BEEMG.

Para o cálculo de kwh/kg dos produtos, foram adotados os pesos de produtos cerâmicos indicados no Tabela 3.8 e que foram obtidos junto às cerâmicas durante o levantamento de dados.

O consumo total mensal de energia em KWh/kg, para cada empresa, é dado na Tabela 3.9.

Tabela 3-8 - Peso de produtos cerâmicos (tijolos e telhas)

<b>Produtos</b>	<b>Peso (kg)</b>
Tijolo furado – 06 furos/9x19x29	3,80
Tijolo maciço – 210x100x60 mm	2,20
Telha americana	3,25
Telha portuguesa	2,50
Telha Colonial	2,10
Telha Plana	1,55

Fonte: Empreendimentos Industriais, 2011.

Tabela 3-9 - Consumo energético mensal nas indústrias

Indústrias	Energia elétrica (kWh/kg)	Biomassa		Óleo Diesel (kWh/kg)	Total de Energia Consumida (kWh/kg)
		Insumo	(kWh/kg)		
PA 01 (c/resíduo)	0,020	serragem	0,379	0,004	0,403
IGA 01 (c/resíduo)	0,005	eucalipto	0,185	0,005	0,195
IGA 02 (c/resíduo)	0,012	eucalipto	0,185	0,005	0,202
IGA 02 (s/resíduo)	0,012	eucalipto	0,370	0,005	0,387
IGA 03 (c/resíduo)	0,013	serragem	0,306	0,009	0,328
IGA 04 (c/resíduo)	0,021	serragem	0,252	0,013	0,286
IGA 05 (c/resíduo)	0,005	eucalipto	0,370	0,022	0,397
IGA 07 (c/resíduo)	0,004	eucalipto	0,296	0,031	0,331
IGA 08 (c/resíduo)	0,021	eucalipto	0,333	0,039	0,393
IGA 09 (c/resíduo)	0,010	eucalipto	0,629	0,013	0,652
IGA 10 (c/resíduo)	0,009	eucalipto	0,370	0,013	0,392
IGA 11 (c/resíduo)	0,035	eucalipto	0,259	0,020	0,314
IGA 12 (c/resíduo)	0,011	eucalipto	0,370	0,013	0,394
IGA 13 (c/resíduo)	0,012	eucalipto	0,370	0,017	0,399
ESMER 03 (c/resíduo)	0,011	poda de arvores	0,316	0,004	0,331
SANJO 02 (c/resíduo)	0,014	eucalipto	1,050	0,099	1,163
LAGOSAN 01 (s/resíduo)	0,016	eucalipto	0,351	0,079	0,446
MATE 01 (c/resíduo)	0,009	eucalipto	0,481	0,013	0,503
BET 01 (c/resíduo)	0,002	pallets	0,341	0,008	0,351
PARA 01 (c/resíduo)	0,016	cavaco e serragem	0,472	0,005	0,493
RIMAN 01 (c/resíduo)	0,012	eucalipto	0,444	0,007	0,463
RIMAN 02 (c/resíduo)	0,006	eucalipto	0,370	0,017	0,393
RIMAN 03 (c/resíduo)	0,011	eucalipto	0,296	0,013	0,320
TAQUA 01 (c/resíduo)	0,013	eucalipto	0,189	0,024	0,226
RIB 01 (c/resíduo)	0,010	eucalipto	0,161	0,011	0,182
RIB 02 (c/resíduo)	0,018	eucalipto	0,370	0,021	0,409
RIB 03 (c/resíduo)	0,011	serragem	0,294	0,008	0,313
RIB 04 (c/resíduo)	0,017	serragem	0,210	0,017	0,244
RIB 05 (c/resíduo)	0,049	pallets	0,569	0,055	0,673
RIB 06 (c/resíduo)	0,021	serragem	0,371	0,041	0,433
RIB 07 (c/resíduo)	0,015	serragem	0,131	0,037	0,183
TAQUA 02 (c/resíduo)	0,010	eucalipto	0,111	0,019	0,140
ESMER 01 (c/resíduo)	0,017	eucalipto	0,308	0,014	0,339
ESMER 05 (c/resíduo)	0,005	eucalipto	0,300	0,001	0,306
CAE 01 (c/resíduo)	0,006	eucalipto	0,259	0,032	0,297
SETE 01 (c/resíduo)	0,020	eucalipto	0,305	0,003	0,328
SETE 02 (c/resíduo)	0,072	serragem	0,842	0,045	0,959
MAT 01 (s/resíduo)	0,009	pallets	0,114	0,049	0,206
MONCAR 02 (s/resíduo)	0,037	serragem	2,297	0,084	2,418
MONCAR 03 (s/resíduo)	0,050	serragem	0,587	0,092	0,729
MONCAR 04 (s/resíduo)	0,039	serragem e cavaco	0,999	0,015	1,053
ITU 02 (s/resíduo)	0,073	lenha nativa	0,474	0,012	0,559
ITU 03 (s/resíduo)	0,036	serragem e cavaco	1,034	0,007	1,077
ITU 04 (s/resíduo)	0,037	serragem	1,200	0,008	1,245
ITU 05 (s/resíduo)	0,026	lenha nativa	0,270	0,008	0,304

Manfredini (2005), em trabalho que avaliou a energia incorporada na produção de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul, obteve resultado semelhante chegando ao valor de 92% para a participação da biomassa na energia utilizada durante a produção.

No mesmo trabalho, o autor observou uma ampla faixa de variação para os valores totais de consumo energético. Assim, no estudo desenvolvido para a cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul os valores mínimo e máximo variaram de 0,242 kWh/kg a 1,346 kWh/kg, enquanto neste levantamento, em Minas Gerais, para uma amostra de 45 cerâmicas, a faixa de variação foi de 0,140 kWh/kg a 2,418 kWh/kg. sendo em ambos os casos observada uma ampla faixa de variação.

Entretanto, quando são utilizados os resultados de 66% de inclusão, indicado no trabalho do Rio Grande do Sul, a faixa encontrada varia de 0,421 kWh/kg a 1,076 kWh/kg. Para Minas Gerais, a mesma inclusão indica uma faixa de resultados que varia de 0,244 kWh/kg a 0,559 kWh/kg.

Os valores obtidos para Minas Gerais, podem estar sendo influenciados pela utilização dos resíduos siderúrgicos na mistura com a argila, o que permite, segundo os ceramistas, uma redução da ordem de 30% no volume de biomassa utilizado na queima dos produtos cerâmicos.

É importante ressaltar que o valor mínimo de 0,140 kWh/kg foi obtido em uma indústria que utiliza um forno semi-contínuo (vagão) com melhor desempenho no consumo energético em relação aos fornos intermitentes.

Nas Figuras 3.13 e 3.14 podem ser observados os gráficos comparativos entre os valores calculados para a amostra de cerâmicas em Minas Gerais e os valores máximo e mínimo do estudo desenvolvido por Manfredini (2005) no Rio Grande do Sul.

---

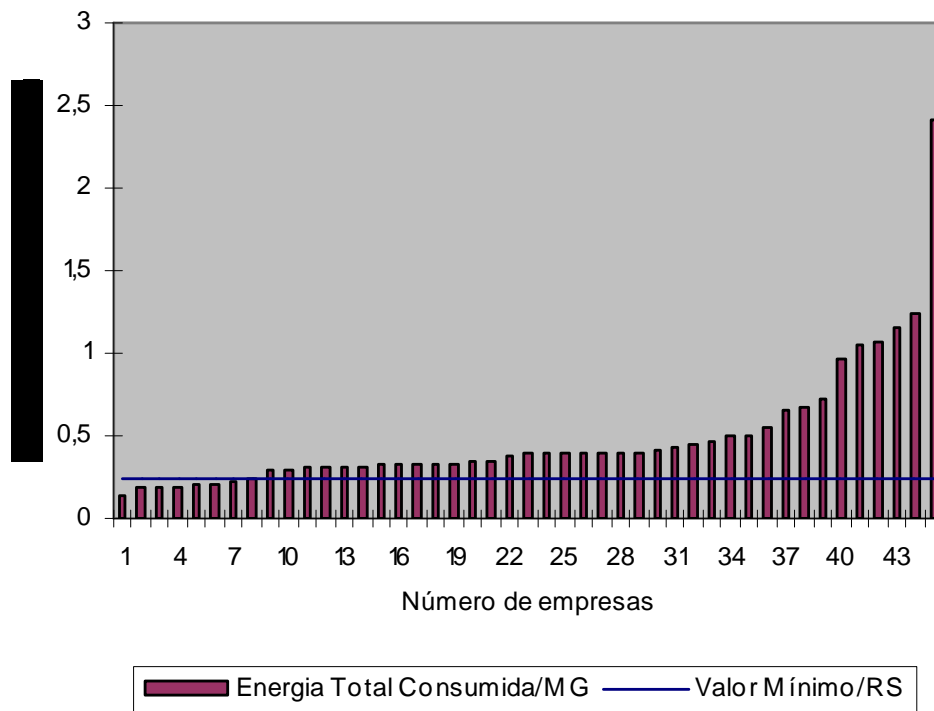


Figura 3-13 - Comparação entre consumos energéticos em Minas Gerais e o consumo mínimo no Rio Grande do Sul

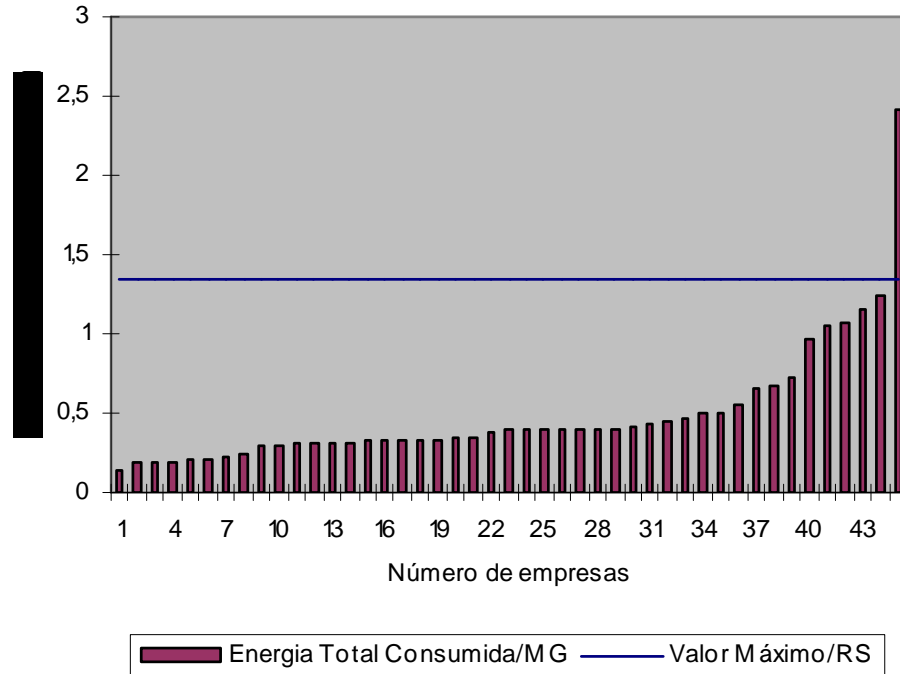
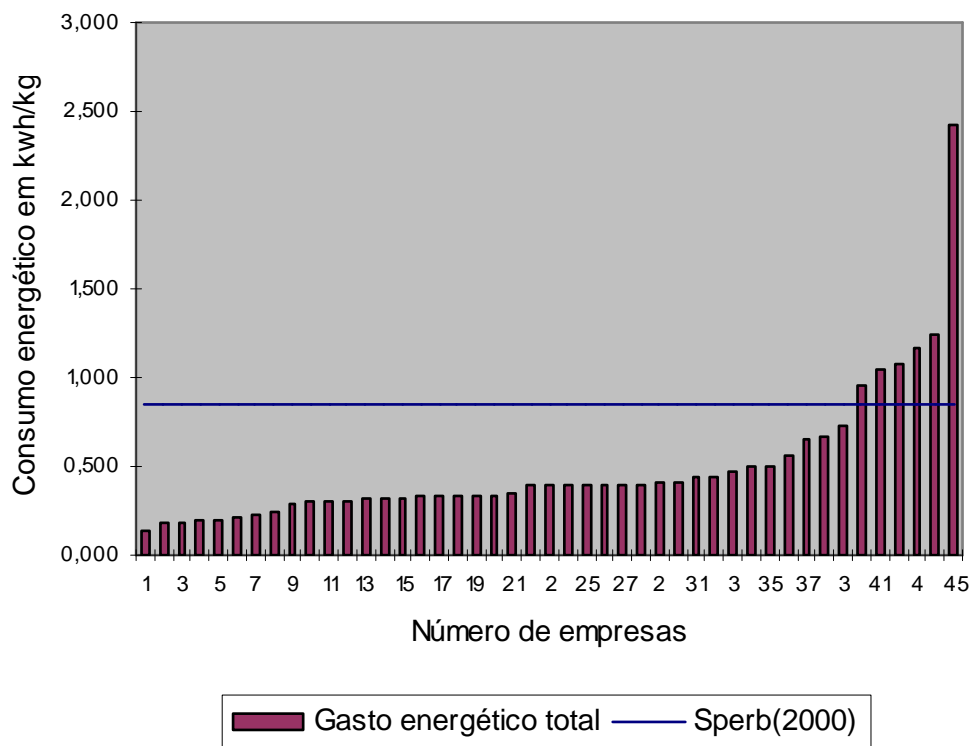


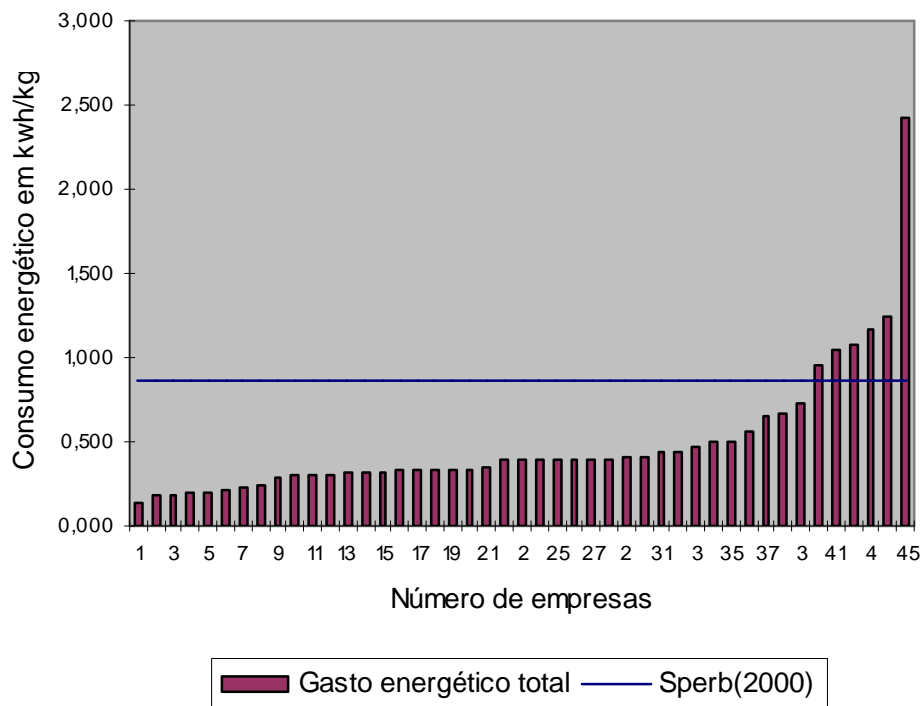
Figura 3-14 - Comparação entre consumos energéticos em Minas Gerais e o consumo máximo no Rio Grande do Sul

Sperb (2000), citado por Manfredini (2005), apresenta alguns valores de energia consumida – 0,853 kWh/kg e 0,869 kWh/kg – em seu trabalho intitulado Avaliação de Tipologias Habitacionais a partir da Caracterização de Impactos Ambientais Relacionados a Materiais de Construção. Manfredini (2005) cita, ainda, os valores da SUDENE/ITEP (Pernambuco 1988) – 0,516 a 0,778 kWh/kg – e os resultados obtidos por Tapia (2000) – 0,582 a 0,931 kWh/kg.

A comparação desses valores com os obtidos nesse estudo, em Minas Gerais, pode ser visualizada nas Figuras 3.15, 3.16, 3.17, e 3.18.



**Figura 3-15 - Comparação entre consumos energéticos em Minas Gerais e o valor mínimo obtido por Sperb *apud* Manfredini (2005)**



**Figura 3-16 - Comparação entre consumos energéticos em Minas Gerais e o valor máximo obtido por Sperb *apud* Manfredini (2005)**

Os dois valores apresentados por Sperb (2000), e citados por Manfredini (2005), são muito próximos, mas nos dois casos estão acima da maioria dos consumos encontrados na amostra de indústrias cerâmicas em Minas Gerais.

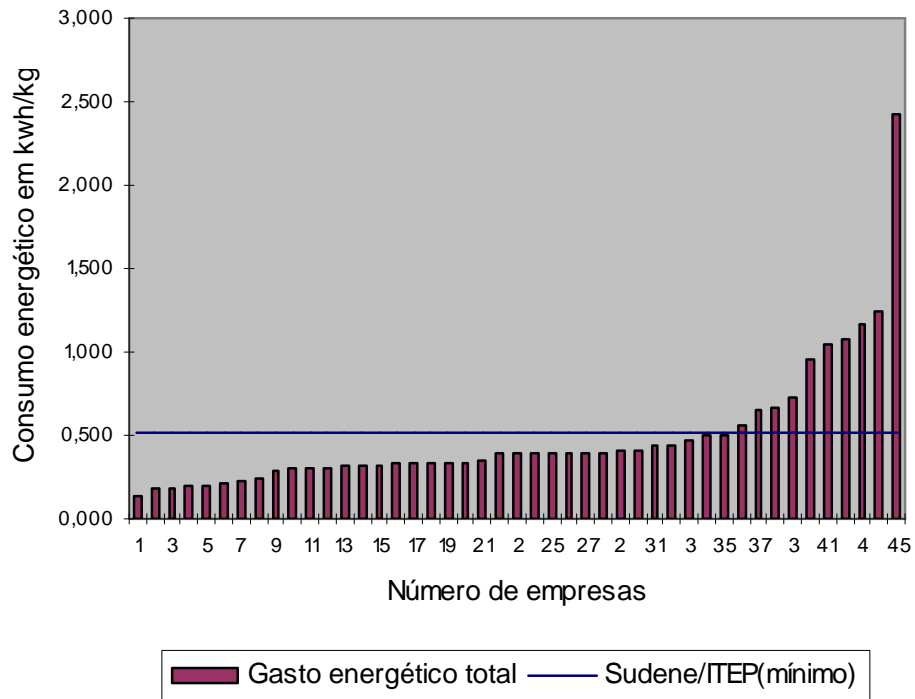


Figura 3-17 - Comparação entre consumos energéticos em Minas Gerais e o valor mínimo da SUDENE/ITEP *apud* Manfredini (2005)

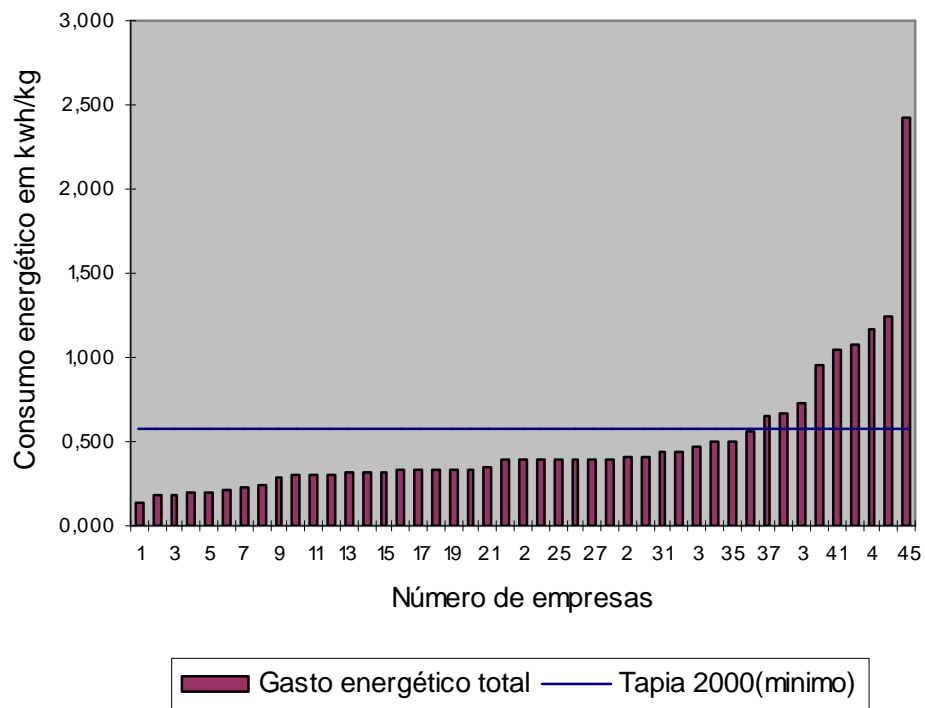


Figura 3-18 - Comparação entre consumos energéticos em Minas Gerais e o valor encontrado por Tapia *apud* Manfredini (2005)



Nestes dois últimos casos, também, os consumos mínimos observados pela SUDENE (1998), como por Tapia (2000), e citados em Manfredini (2005), estão, na maior parte dos valores, acima daqueles calculados para a amostra de Minas Gerais, apesar da proximidade entre estes. Essa análise da situação descrita indica que o uso de resíduos com teores elevados de carbono deve resultar na redução do consumo de biomassa e, portanto, no gasto energético total para a fabricação da cerâmica vermelha no Estado.

---

## 4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- A metodologia preconizada por Manfredini (2005) e utilizada em estudo similar no Rio Grande do Sul mostrou-se adequada para o estudo em Minas Gerais;
  - O consumo energético na produção das indústrias de cerâmica vermelha em Minas Gerais situou-se, de modo geral, entre os valores extremos observados no estudo conduzido com cerâmicas similares no Estado do Rio Grande do Sul, porém com maior proximidade ao valor mínimo encontrado;
  - Os valores encontrados, de consumo energético nas cerâmicas vermelhas em Minas Gerais situaram-se, de modo geral, abaixo dos valores observados em outros trabalhos similares conduzidos no Brasil e relacionados por Manfredini (2005);
  - De acordo com as estimativas energéticas apresentadas para Minas Gerais junto ao relato dos ceramistas durante a fase de levantamento de informações primárias é possível inferir que o uso dos resíduos fercoque e pó de balão é um fator de redução, no consumo de biomassa e no tempo de queima dos produtos cerâmicos, resultando em menor gasto energético na produção;
  - A utilização dos resíduos industriais, fercoque e pó de balão, em mistura com a massa de argila durante a produção cerâmica tem potencial para sequestrar carbono presente nos resíduos;
  - As cerâmicas vermelhas em Minas Gerais são dependentes do fornecimento por terceiros de lenha para queima nos fornos por não possuírem áreas de plantios de florestas energéticas;
  - De modo geral, a produção de cerâmica vermelha em Minas Gerais apresenta baixo nível tecnológico, e muitas vezes não tem conhecimento efetivo das temperaturas durante o processo de queima;
-

---

De acordo com os resultados obtidos recomenda-se:

- Realizar seminário, com as cerâmicas vermelhas de Minas Gerais, visando à divulgação das informações sobre gastos energéticos contidas neste trabalho e discussão de propostas para melhoria do processo produtivo, principalmente, a queima com o controle das temperaturas, além dos tipos de fornos, dos aspectos ambientais relativos à estocagem e manejo de resíduos na mistura com a argila, e do plantio de florestas energéticas;
  - Incentivar a adoção, pelas cerâmicas, de práticas de produção mais limpa, eficiência energética e redução na geração de efluentes e resíduos;
  - Dar continuidade aos estudos de avaliação do potencial de seqüestro de carbono nesse setor de cerâmica vermelha;
  - Introduzir, em princípio, como condicionante no licenciamento ambiental dos empreendimentos de cerâmicas vermelhas a adoção no caso do processo produtivo com mistura de resíduos à argila, a exigência do controle de temperatura dos fornos, com uso de termopares, por exemplo, e a apresentação do monitoramento das curvas de queima, nos relatórios enviados aos órgãos licenciadores.
-

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CENTRAIS ELÉTRICAS DE MINAS GERAIS. 24º Balanço Energético de Minas Gerais. Disponível em:

<<http://www.cemig.com.br/.../Documents/24%20Balanco%20energetico.pdf>>.

Acesso em fev. 2011.

DUTRA, R. et. al. Propriedades tecnológicas de materiais cerâmicos de base argilosa conformados por extrusão e submetidos a diferentes ciclos de queima.

Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17cbecimat - 111-018.pdf>>. Acesso em 21 de mar.2011.

EMRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Produção e Rentabilidade do Eucalipto em empresas Florestais, Comunicado Técnico 83.

Disponível em: <[www.cnpf.embrapa.br/publica/comuntec/edicoes/com\\_tec83.pdf](http://www.cnpf.embrapa.br/publica/comuntec/edicoes/com_tec83.pdf)>

Acesso em mar. 2011

INVENTÁRIO FLORESTAL DE MINAS GERAIS. Monitoramento dos Reflorestamentos e Tendências da Produção em Volume, Peso de Matéria Seca e Carbono, 2005 – 2007/ editado por José Roberto Soares Scolforo, Luís Marcelo tavares de carvalho e Antônio Donizette de Oliveira. Lavras: Editora UFLA, 2008. 150p. : il.

MANFREDINI, C.; SATTLER, M. A: Estimativa da energia incorporada a materiais de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v.5, n.1, p. 23-37, jan. / mar. 2005.

MENKES, Mônica. Eficiência energética, políticas públicas e sustentabilidade. Disponível em: <<http://www.unbcds.pro.br/publicações/MonicaMenkes.pdf>> . Acesso em: 15 de fev. 2011.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Nacional 2010 Ano Base 2009. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2010.aspx>> Acesso em fev. 2011

---

MOTTA, J. F.; ZANARDO, A.; JUNIOR, M. As matérias-primas cerâmicas. Parte I: O perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos. *Cerâmica Industrial Unesp/IPT*, São Paulo, v. 6, n. 2, mar/abr 2001. Disponível em:

<<http://ceramicaindustrial.org.br/pdf/v06n02/v6n2>> Acesso em mar 2011.

SANTOS, G. et. al. Serragem e gás natural como fontes energéticas em fornos túneis na indústria cerâmica vermelha. Disponível em:

<[http://emc.ufsc.br/labtermo/siteLabCET/ENCIT\\_2000.pdf](http://emc.ufsc.br/labtermo/siteLabCET/ENCIT_2000.pdf)>. Acesso em 21 de mar. 2011.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. Setores Estratégicos Sebrae Minas 2005-2007, Cerâmica. Disponível em:

<[http://www.sebraemg.com.br/arquivos/perfil\\_setordeceramica.pdf](http://www.sebraemg.com.br/arquivos/perfil_setordeceramica.pdf)>. Acesso em 16 de fev.2011.

SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÃO AMBIENTAL. Consulta interna. Disponível em:<<http://www.siam.mg.gov.br/siam/analise>> . Acesso em mar de 2010.

SOUZA, C. M. et. al. *Uso agrícola do pó de balão e da lama do sistema de limpeza de gases de altos-fornos a carvão vegetal*. 2006 124 f. Relatório de Pesquisa – Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. Minas Gerais. 2006.

SOUZA, V. et. al. Análise dos gases poluentes liberados durante a queima de cerâmica vermelha incorporada com lodo de estação de tratamento de água. *Cerâmica*, Campos dos Goytacazes, RJ, v 54, n 331, 2008, p. 351-355. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/ce/v54n331/a1354331.pdf>>. Acesso em mar.2011.

VIEIRA, C. et. al. Incorporação de lama de alto forno em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, São Paulo, v 53, n 328, oct./dec. 2007. Disponível em:

<[www.scielo.br/pdf/ce/v53n328/a0853328.pdf](http://www.scielo.br/pdf/ce/v53n328/a0853328.pdf)>. Acesso em mar 2011

---

