

# Energia Solar Fotovoltaica e Indústria de Rochas Ornamentais

Alunos: Bruna Vale  
Milton José  
Pedro  
Henrique

Professor: Gilberto  
Cifuentes

# Potencial de Geração Solar

- Uma grande quantidade de energia é produzida pelo sol, que emite cerca de  $62,5 \text{ kW/m}^2$ , mas apenas uma pequena parte desta energia chega até a Terra, em forma de radiação.
- cada metro quadrado na Terra recebe do Sol uma potência aproximada de 1.400 watts, ou 1.400 joules por segundo. Por meio desta potência recebida na Terra, determina-se a luminosidade do Sol em  $4 \times 10^{26}$  watts, ou  $4 \times 10^{33}$  ergs por segundo. Toda essa quantidade de energia corresponde à queima de  $2 \times 10^{20}$  galões de gasolina por minuto, mais de 10 milhões de vezes a produção anual de petróleo na Terra (MORAES, 2002).



## Aspectos da Energia proveniente do Sol e sua importância para as conversões fotovoltaicas

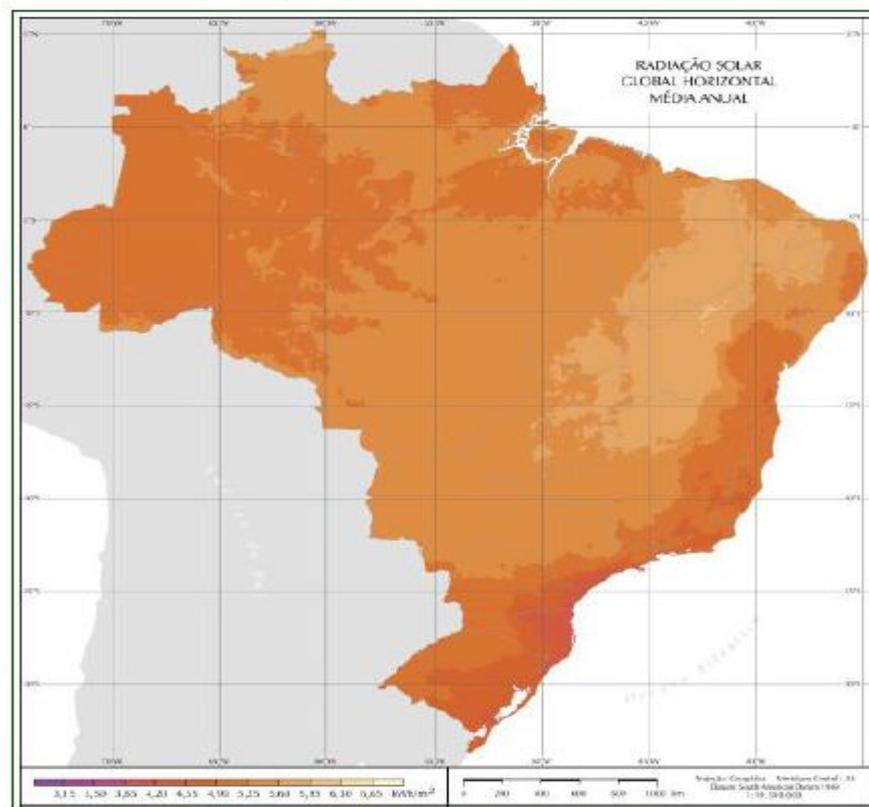
- A energia proveniente da radiação solar que atinge a atmosfera terrestre a cada ano equivale a  $1,52 \times 10^{18}$  kWh e o consumo anual de energia no mundo é de  $1,40 \times 10^{14}$  kWh, em 2010 (COGEN, 2012), ou seja, 0,01% da radiação solar supriria a demanda mundial anual de energia (SANTOS, 2011).
- A irradiância solar que chega em nosso planeta tem o valor aproximado de  $1.367 \text{ W/m}^2$ , ou aproximadamente  $1.400 \text{ W/m}^2$ .
- Entende-se que a Irradiação Solar corresponde à quantidade de energia solar incidente por unidade de superfície durante um período definido de tempo (normalmente um dia, mês ou ano), sendo obtida por meio da integral da irradiância global neste período. É expressa, comumente, em  $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$ ,  $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{mês})$  ou  $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$  (ONUDI, 2014).



# Potencial de Irradiação Solar no Brasil

- Os valores anuais de radiação solar global incidente variam entre 1.550 e 2.400 kWh/m<sup>2</sup> ao longo do território nacional e são superiores aos da maioria dos países da União Europeia, como por exemplo, a Alemanha (900 – 1.250 kWh/m<sup>2</sup>), a França (900 – 1.650 kWh/m<sup>2</sup>) e a Espanha (1.200 – 1.850 kWh/m<sup>2</sup>).

Figura 1: Atlas Brasileiro de Energia Solar



Fonte: PEREIRA, et al. (2008).

## Aspectos Técnicos de um sistema de energia Fotovoltaica

- A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores.
- um semicondutor se comporta como um isolante a zero Kelvin (zero absoluto), ou seja, não conduz eletricidade. Contudo, com o aumento da temperatura, os elétrons absorvem energia, ou seja, o semicondutor começa a conduzir eletricidade, agindo como um condutor (BENEVIDES, et al., 2010). Por isso o nome: semicondutor.
- Para formar uma célula fotovoltaica (ou um diodo) são unidos dois tipos de semicondutores: um denominado P e outro denominado N. Na área da união, chamada de “junção - PN”, os elétrons livres do semicondutor tipo N migram para o semicondutor tipo P (MORA, et al., 2010).

## Os tipos de geradores fotovoltaicos

São três as gerações de tecnologias para a conversão de energia solar em energia elétrica, a saber:

Figura 3: Classificação das gerações de tecnologias fotovoltaicas

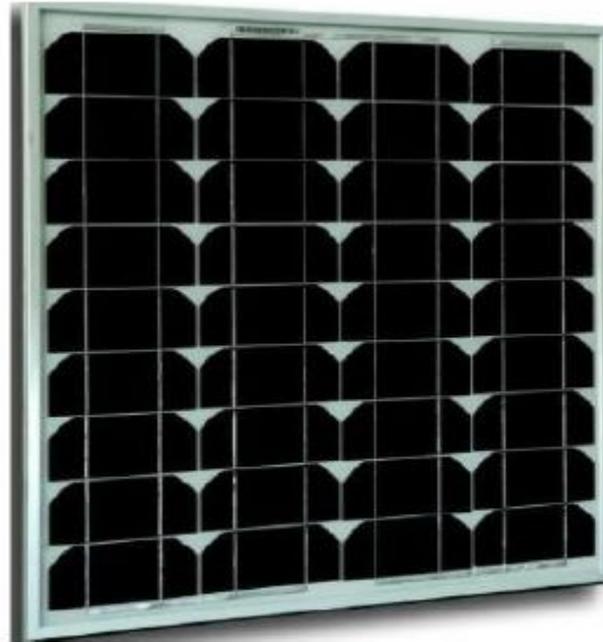


Fonte: Elaborado à partir de EPE (2012).

## Silício Cristalino

- A utilização do silício cristalino na fabricação de células fotovoltaicas se divide em dois grupos, os monocristalinos e os policristalinos (EPE, 2012). Os monocristalinos são a tecnologia mais antiga, e também a mais cara.
- Tais painéis ocupam menos espaço que os policristalinos, pois eles possuem uma eficiência maior e portanto necessitam de menos espaço para gerar a mesma quantidade de energia elétrica.

Figura 4: Módulo Fotovoltaico de silício monocristalinos.



Fonte: FORTES (2013).

### Vantagens:

- A vida útil destes painéis é maior do que 30 anos e geralmente possuem garantia de 25 anos.
- Em condições de pouca luz, tendem a funcionar melhor do que os painéis policristalinos.

Desvantagem:

- uma quantidade significativa do silício não é aproveitada na célula e precisa ser reciclado

## Silício Policristalino

- são compostas com finas fatias de silício compostas por pequenos cristais, rígidas e quebráveis, de cor azulada e não uniforme.

Figura 5: Módulo Fotovoltaico de silício policristalinos.



Fonte: FORTES (2013).

## Vantagens:

- os gastos de energia requeridos são menores, bem como, o rigor no controle do processo de fabricação
- O Silício residual gerado durante o processo de corte das células fotovoltaicas de Silício Policristalino é menor em comparação aos monocristalinos. Portanto, estes painéis tendem a ser um pouco mais baratos que os painéis monocristalinos.
- sua vida útil é maior do que 30 anos, tendo geralmente, garantia de 25 anos

## Filmes Finos Inorgânicos

As células de filmes finos são produzidas por meio de um processo de depósito de camadas extremamente finas de material semicondutor. São revestidas de proteção mecânica, como vidro ou plástico.

Há de três Tipos:

- silício amorfo (a-Si)
- telureto de cadmio (CdTe)
- disseleneto de cobre índio gálio (CIGS)

## Silício Amorfo

Os filmes finos de silício amorfo são fabricados por um processo denominado “empilhamento”, que é a deposição de finas camadas de materiais sobre uma base rígida e flexível, podendo ser produzidos em qualquer dimensão.

Os filmes finos de silício amorfo possuem uma eficiência de 6% a 9%

Figura 6: Módulo Fotovoltaico de Filme Fino de silício amorfo.

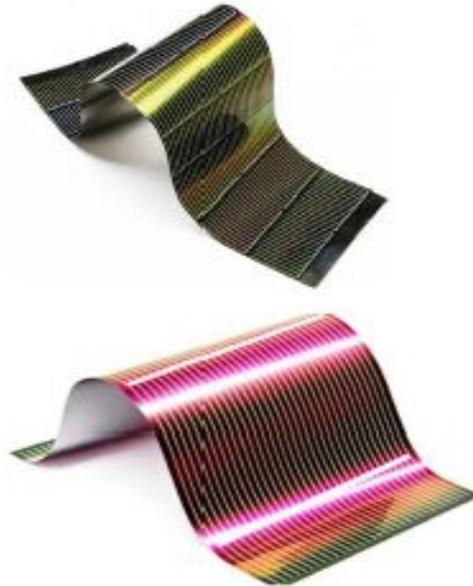


Fonte: FORTES (2013).

## telureto de cádmio (CdTe) e disseleneto de cobre índio gálio (CIGS)

- Diferenciam-se dos de silício amorfo por se tratar de materiais mais raros, portanto os custos são mais elevados, tendo cores diversas e com eficiência em torno de 8,5%.

Figura 7: "Módulo Fotovoltaico" de Filme Fino.

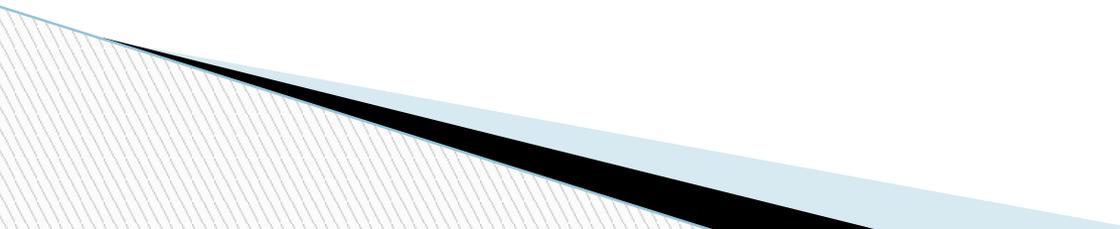


Fonte: FORTES (2013).

## Vantagens:

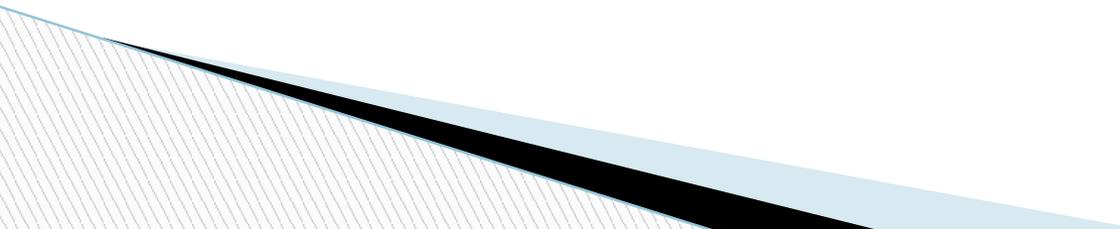
- As células solares do tipo CIGS mostraram o maior potencial em termos de eficiência. Estas contêm menos quantidades de cádmio (material tóxico que é encontrado em células solares de CdTe - Telureto de Cadmio) e seus índices de eficiência operam na faixa de 10 -12%, sendo que já existem alguns painéis passando dos 13%.
- Por serem depositados sobre diversos tipos de substratos de baixo custo (plásticos, vidros e metais), os filmes finos constituem tecnologia de baixo custo.
- o gasto de energia na fabricação de células de filme fino é menor

## Desvantagens:

- a eficiência na conversão da energia é menor
  - tendem a degradar mais rapidamente do que os painéis solares mono e policristalinos
- 

## Células Orgânicas e Inorgânicas

As células solares de terceira geração são principalmente de três tipos:

- **as células solares orgânicas (OPV - Organic Photovoltaic);**
  - **as células solares sensibilizadas por corantes (DSSC - Dye-Sensitized Solar Cell) ;**
  - **e as células solares baseadas em pontos quânticos (QD - Quantum Dots).**
- 

## Células Solares Orgânicas (OPV)

- são um tipo de célula solar de polímero (materiais semicondutores à base de carbono) que usa a eletrônica orgânica, um ramo da eletrônica que lida com polímeros orgânicos condutores ou pequenas moléculas orgânicas, para absorção de luz e transporte de carga para a produção de eletricidade a partir da luz solar, pelo efeito fotovoltaico.
- Um dos processos industriais usados na fabricação deste tipo de células é o chamado impressão em rolo (*roll to roll*), que é a *impressão de células fotovoltaicas orgânicas em substrato leve, flexível e transparente. As eficiências das células orgânicas variam*

Figura 9: Célula solar do tipo OPV.



Fonte: MERCK (2015).

## Vantagens:

Este tipo de célula solar foi idealizada como uma tecnologia fotovoltaica flexível, de baixo custo, feita por processos de impressão, em máquinas simples e com materiais abundantes.

## Células solares sensibilizadas por corantes (*DSSC - Dye-Sensitized Solar Cell*)

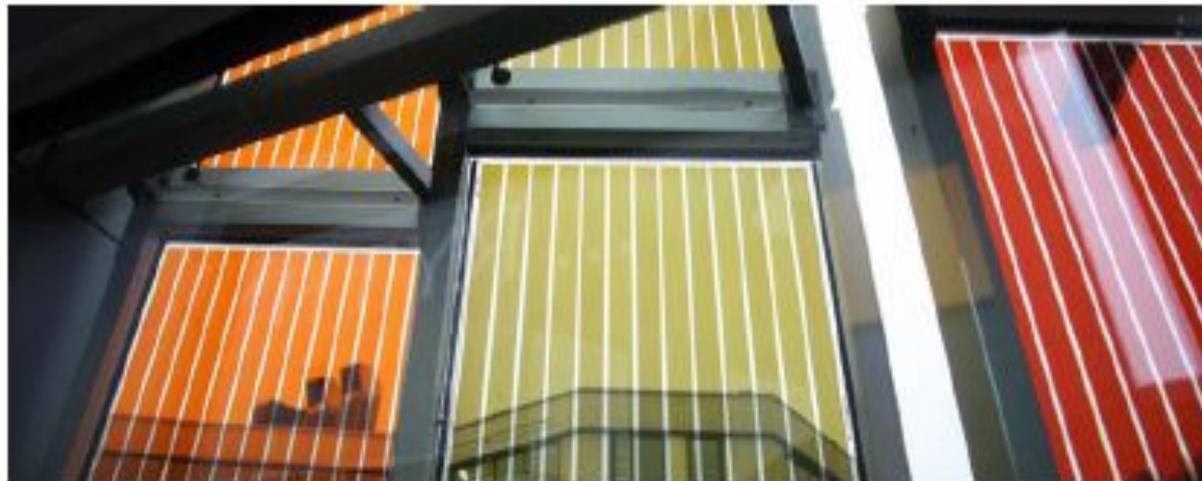
- as DSSC funcionam por meio de reações químicas de oxirredução. São também chamadas de “híbridas”, pois são feitas de materiais orgânicos e inorgânicos, elas são construídas entre dois vidros e contêm um eletrólito líquido, normalmente uma solução composta por um sal de iodo.
- As células ativadas por corantes (geralmente complexos de rutênio) absorvem a radiação solar, permitindo o fenômeno da separação das cargas (positivas e negativas) para a produção de energia elétrica.

## Células solares baseadas em pontos quânticos (QD - Quantum Dots).

As QDs são nanopartículas ou nanocristais de material semicondutor de dimensão que varia de 2 a 10 nm, com elementos do grupo II-VI (CdSe, CdTe, CdS, ZnSe, ZnO, etc) ou III-V (InP, InAs) (MANSUR, 2010) com propriedades distintas, como:

Elevada absorção, fotoestabilidade, larga região do espectro de excitação com estreitas bandas de emissão e baixa tendência de fotodegradação.

Figura 10: : Célula solar do tipo DSSC



Fonte: MERCK (2015).

## Vantagens Gerais dos filmes finos orgânicos

- A fabricação com baixo consumo de energia e o reduzido custo de manufatura são as principais vantagens das células de filmes finos orgânicos.
- No caso dos sistemas feitos de OPV, por exemplo, o *payback energético pode ser menor que um ano, enquanto que para os painéis fotovoltaicos de silício cristalino, o payback é em torno de quatro anos.*
- a possibilidade de fabricação de grandes painéis flexíveis, feitos de plástico ou tecido, por meio de métodos simples de impressão da indústria gráfica, permitindo a produção de módulos solares leves e dos mais variados tamanhos

## Desvantagens

- Contudo, estas tecnologias apresentam baixa eficiência e reduzido tempo de vida útil, bem como a baixa taxa de conversão da energia luminosa em energia elétrica. Todavia, o índice de eficiência máximo já obtido, mas não certificado, para as células OPV foi de 12,1% e para as DSSC, de 9%.
- As células ainda apresentam baixa eficiência, em torno de 1%, podendo se encontrar casos de 3 a 5%.

## Componentes de Um sistema de Geração Fotovoltaica

O tipo de gerador escolhido é o de 1ª Geração, mais usual no Brasil. Os principais componentes de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede são:

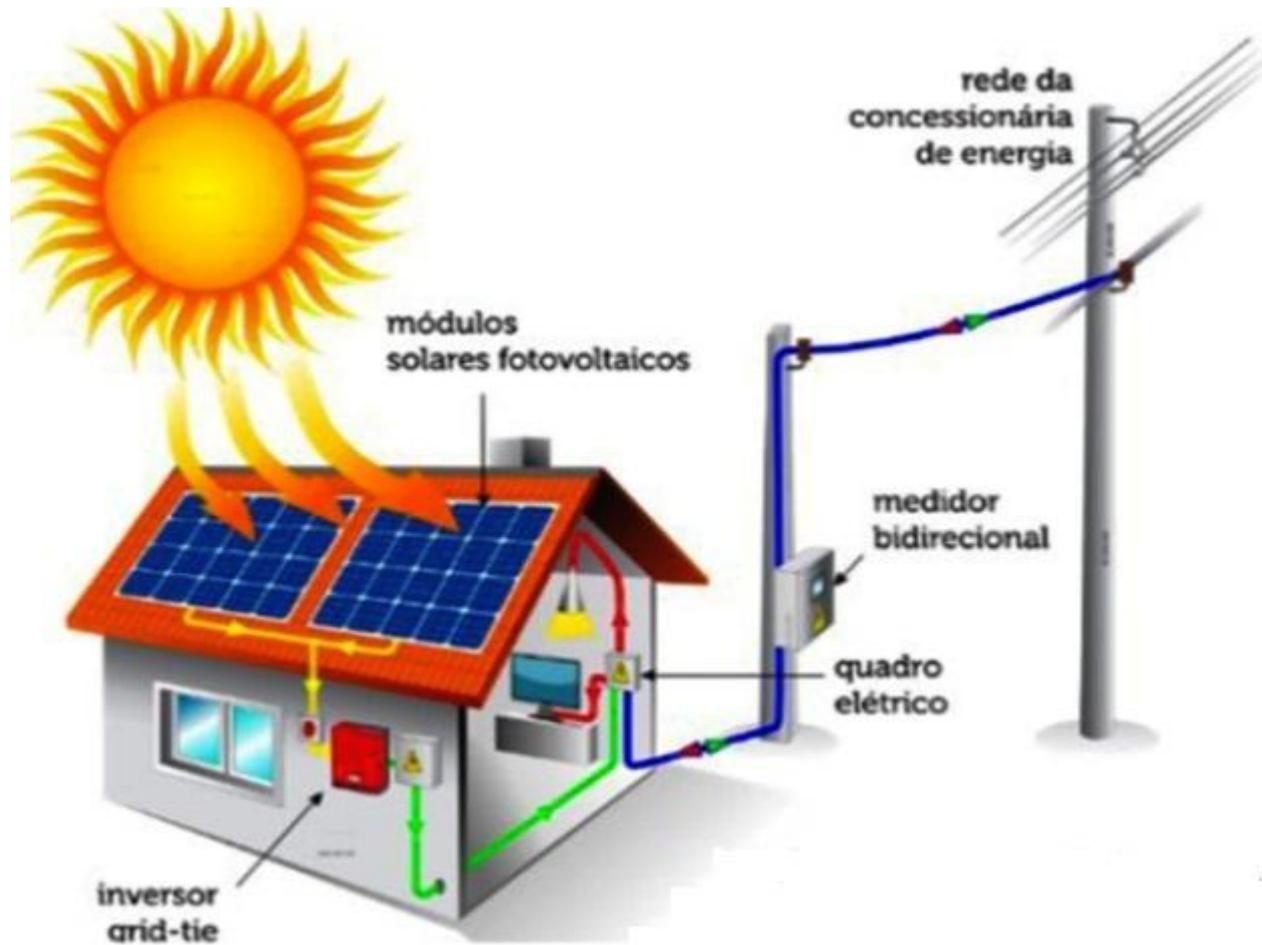
• **Gerador fotovoltaico, que se trata de vários módulos fotovoltaicos dispostos em série e em paralelo, com estruturas de suporte e de montagem;**

□ **Caixa de junção, equipada com dispositivos de proteção e interruptor de corte principal CC;**

□ **Cabos CA-CC;**

□ **Inversor;**

□ **Mecanismo de proteção e aparelho de medida.**

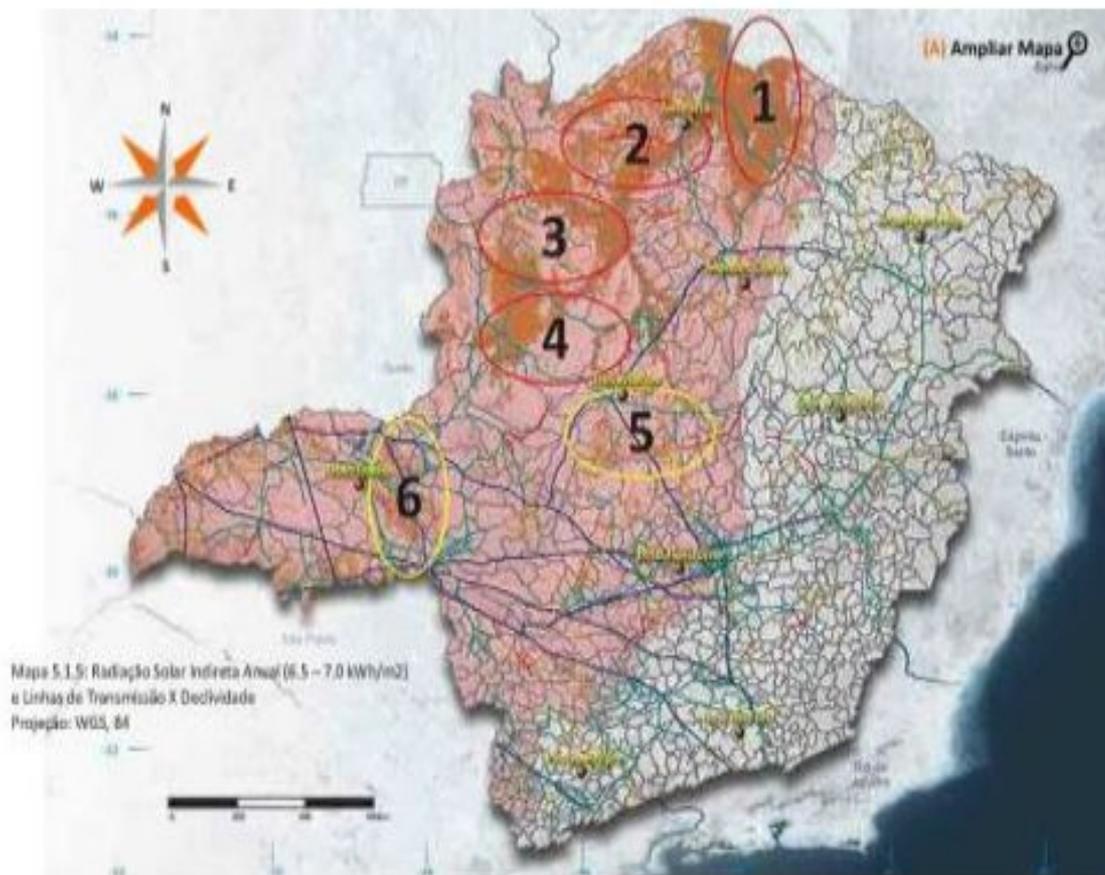


## ESCOLHA DA MELHOR ÁREA PARA IMPLANTAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS, EM TERMOS DE SUSTENTABILIDADE

- o conjunto de elementos é o conjunto de critérios associados aos componentes humano, natural, institucional e de produção, que são fatores condicionantes formados por indicadores, sendo estes extraídos do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado de Minas Gerais (ZEE).
- O ponto de partida desse estudo é o Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, concluído em maio do ano de 2012 pela CEMIG, que, com base no mapeamento do potencial solar do estado, aponta as seis melhores áreas promissoras para desenvolvimento de empreendimentos solares, segundo um contexto de viabilidade técnica

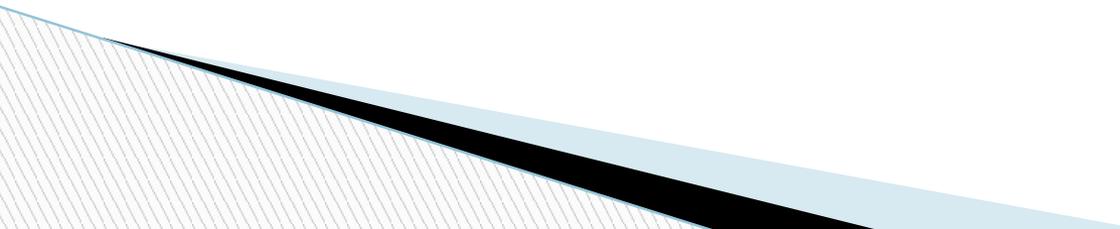
Figura 12: Áreas promissoras em Minas Gerais para empreendimentos solares.

- Área 1: Janaúba.
- Área 2: Januária.
- Área 3: Pirapora e Unaí.
- Área 4: Pirapora e Paracatu.
- Área 5: Curvelo e Três Marias.
- Área 6: Patrocínio e Araxá.



Fontes: CEMIG (2012).

## Implantação de Usinas Solares Fotovoltaicas e Seus Impactos

- No espaço aonde serão instaladas as placas fotovoltaicas haverá perda do habitat de reprodução e alimentação.
  - Haverá alterações no padrão de movimentação das espécies.
  - Ruídos e vibrações devido ao transporte de equipamentos.
  - Desflorestamento, para construir grandes usinas solares.
  - Geração ou acirramento de processos erosivos e alterações do comportamento hídrico e do fluxo hidrológico superficial.
  - Alterações morfológicas e instabilidade temporária da superfície.
- 

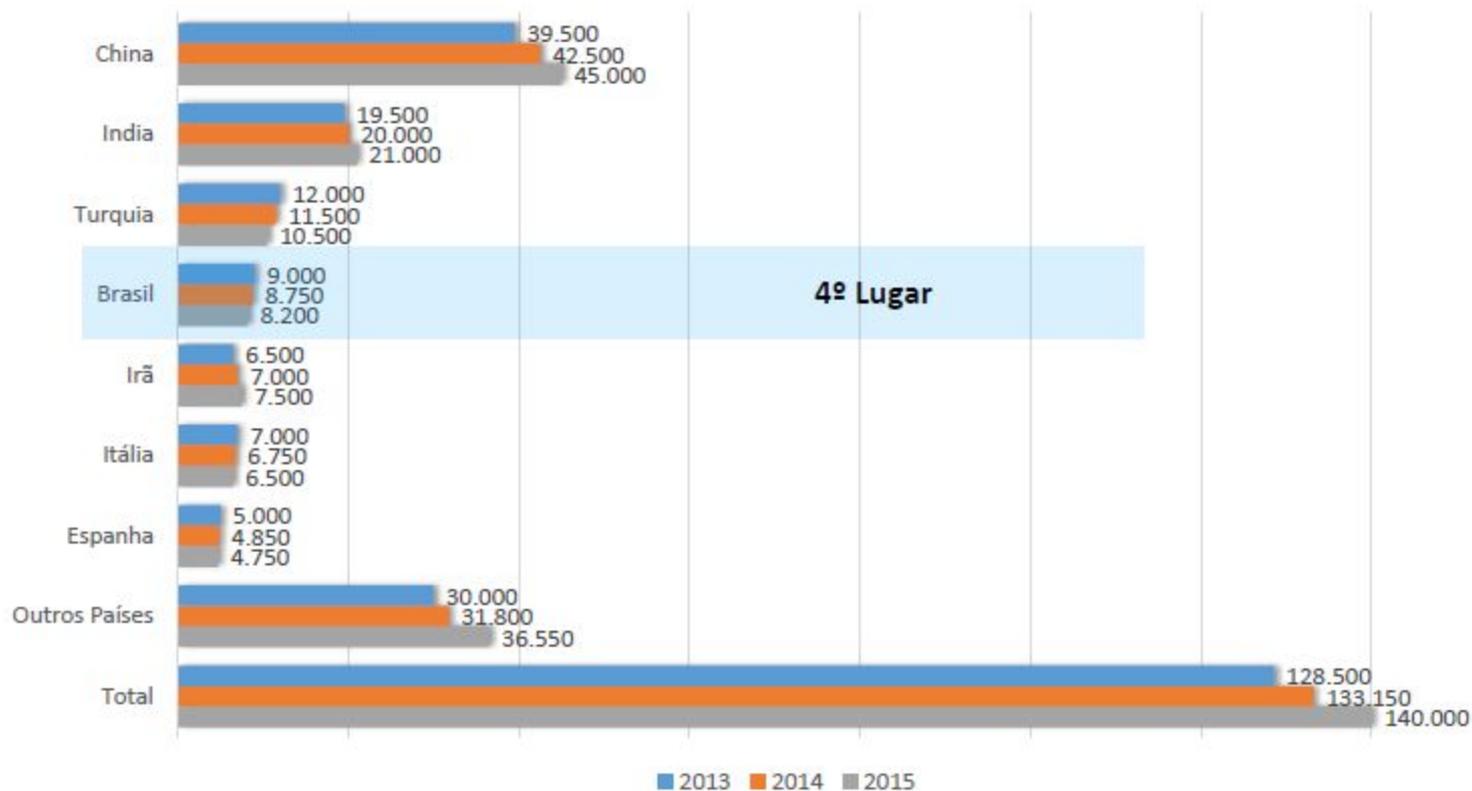
## PERFIL DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Segundo a ABNT NBR 15012:2003, rocha ornamental é um material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, utilizado para exercer função estética.



# Produção Mundial de Rochas Ornamentais

## PRODUÇÃO MUNDIAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS (em mil toneladas)



Fonte: Dados mundiais segundo estimativas do XVII Rapporto Marmo e Pietre nel Mondo 2016 (XXV World Marble and Stones Report);  
Elaboração: Findes/Ideies

# CENÁRIO BRASILEIRO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS - 2016

## O setor em números:

### Produção estimada

9,3 milhões de toneladas de rochas.

### Capacidade Produtiva

50 milhões de m<sup>2</sup>/ano de rochas de processamento simples.

### Comercialização

1.200 variedades comerciais. O Brasil exportou para 120 países em 2016, novamente com maior destaque para EUA, China e Itália.

### Consumo Interno

Consumo interno de 5.900 mil t em 2016.



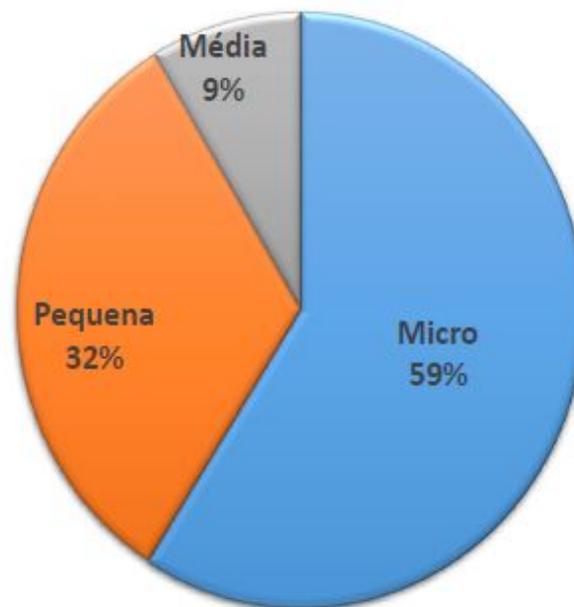
Fonte: ABIROCHAS

Elaborado por: Ideies/Findes

# PORTE DAS EMPRESAS NO SETOR DE ROCHAS NO BRASIL

Número de empresas (CNPJ) por porte setor de Rochas Ornamentais: BR

Setor	CNAE
	0810-01
	0810-02
Rochas Ornamentais	0810-03
	23915-02
	23915-03



Fonte: Fonte: Rais /MTE  
Elaboração: Ideies/Findes

Nota: Foi utilizado o critério de classificação do IBGE como critério de classificação do porte das indústrias pelo número de empregados.

Porte	Nº de empregados
Micro	com até 19 empregados
Pequena	de 20 a 99 empregados
Média	100 a 499
Grande	mais de 500 empregados

Fonte: IBGE

# Tipos de rochas ornamentais

## Ardósia

Ardosias (slates) são rochas metassedimentares, de baixo grau metamórfico, formadas a partir de sequências argilosas e siltico-argilosas. Seus principais constituintes mineralógicos incluem mica branca fina (sericita), quartzo, clorita e grafita. Sendo essencialmente constituídas por minerais estáveis, como o quartzo e os filossilicatos (mica e clorita), as ardosias são resistentes a meteorização e por isso bastante duráveis.

A região denominada Província da Ardósia é conhecida por produzir ardosias de boa qualidade e cores diferenciadas. As cores encontradas são preta, grafite, cinza, ferrugem, verde e roxa.

O processo produtivo é descrito a seguir:

### Lavra



Figura 17: Fluxograma da lavra de ardósia

## Beneficiamento

Após a lavra, os lajões e as lajinhas são enviados às indústrias de beneficiamento. O principal produto são os ladrilhos/lajotas, utilizados em revestimentos, principalmente de pisos. Também são elaboradas chapas, para peças padronizadas, para tampos de mesa, pia e bilhares, revestimento de paredes e pisos, divisórias, mobiliário, pisos elevados, telhas (principal item de exportação), mosaicos, telhados, lousas e artesanato.



Figura 18: Fluxograma do beneficiamento da ardósia

## Mármore e Granitos

O termo granito (granite) designa um amplo conjunto de rochas silicáticas, abrangendo monzonitos, granodioritos, charnockitos, sienitos, dioritos, diabásios/basaltos e os próprios granitos, geradas por fusão parcial ou total de materiais crustais preexistentes.

A composição mineralógica desses “granitos” é definida por associações muito variáveis de quartzo, feldspato, micas (biotita e muscovita), anfíbolios (sobretudo hornblenda), piroxênios (aegirina, augita e hiperstenio) e olivina.



Figura 19: Lavra de granito

Já o termo mármore, segundo ABIROCHAS (2009):

É empregado para designar todas as rochas carbonáticas, metamórficas ou não, capazes de receber polimento e lustro.



As etapas de extração do Mármore e do Granito são:



Figura 21: Fluxograma da extração do granito

TÉCNICAS DE CORTES PARA DESMONTE DE ROCHAS	
CORTE CÍCLICO	CORTE CONTÍNUO
Perfuração e explosivo	Fio helicoidal e diamantado
Perfuração contínua	Chama térmica (flame jet)
Divisão mecânica por cunhas	Jato d'água (waterjet)
Divisão por agentes expansivos	

## Beneficiamento

Apos a lavra, os blocos passam pelo beneficiamento, visando atender as especificações de mercado. As etapas de beneficiamento são as seguintes:



Figura 23: Fluxograma do beneficiamento de granitos e mármore



Figura 24: Tear multifios



Figura 25: Acabamento de granito

## Quartzito

Rochas metamórficas com textura sacaróide, derivadas de sedimentos arenosos, formadas por grãos de quartzo recristalizados e envolvidos ou não por cimento silicoso. Tanto quanto nos mármorees, a recristalização mineralógica ocorre por efeito de pressão e temperatura atuantes sobre os sedimentos originaes, tornando os quartzitos normalmente mais coesos e menos friáveis que os arenitos.

# Atividades da Lavra

## Atividades de lavra

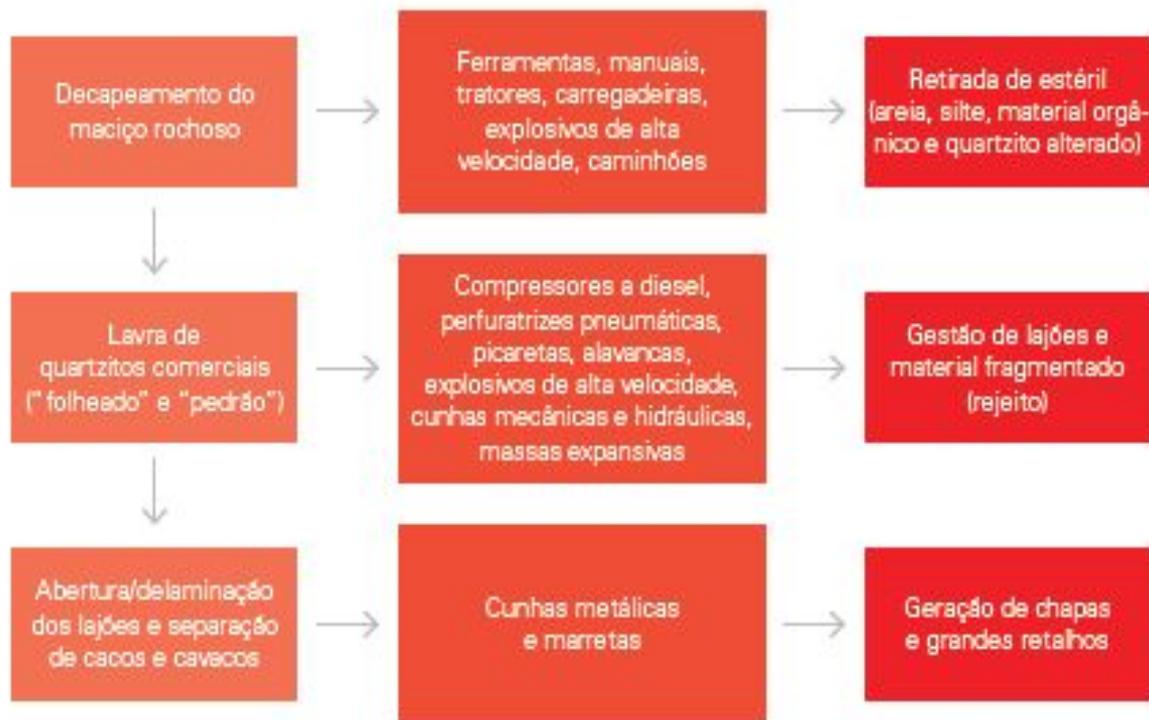
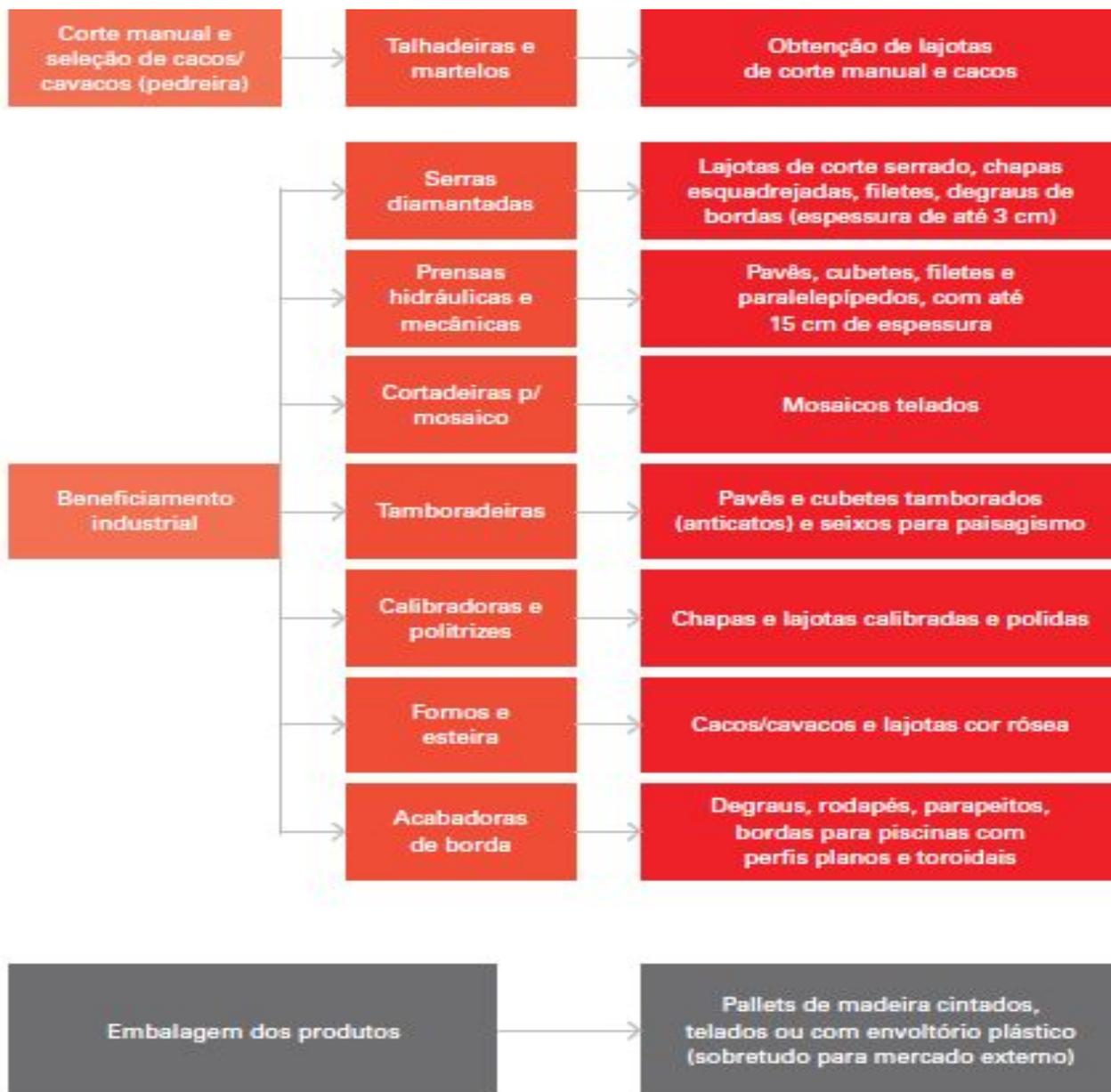


Figura 26: Fluxograma de lavra

# Etapa do beneficiamento



# Marmorarias

Minas Gerais possui mais de 1.500 marmorarias de pequeno e médio portes voltadas ao consumidor final. Estimam-se perdas de produção de aproximadamente 18%, ocasionando grande geração de rejeitos no beneficiamento final em um elevado número de municípios.

## Processo de beneficiamento nas Marmorarias



Figura 28: Fluxograma das etapas realizadas em marmorarias

# Discussões e Resultados

Com base no que fora apresentado, sabe-se já que a considerar um projeto na cidade de São Paulo, teremos um índice solarimétrico local de: 4,15 kWh/m<sup>2</sup>/dia. Uma máquina de cortar Granito SRF-E contém 4 motores de 10 CV, 2 CV, ½ CV, 7,5 CV e 1,5 CV trabalhando simultaneamente apenas para fazer o corte e acabamento das rochas, o que gastaria em média 507.84 kWh segundo o simulador de consumo da Sirtec.



# Conclusão



# Referências Bibliográficas

- <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>  
Acessado em 18/11/2018
- Leonardo L. L. Silveira, BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, Rio de Janeiro, junho de 2014
- ANÁLISE DE PRÉ-VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA IMPLANTAÇÃO DE
- UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA EM CONSÓRCIO COM A REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, Belo Horizonte 2016
- Fundação Estadual do Meio Ambiente, Guia técnico ambiental da indústria de rochas ornamentais / Fundação Estadual do Meio Ambiente, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: FEAM; FIEMG, 2015.