

## ENERGIA FOTOVOLTAICA: Surgimento, Vantagens e Desvantagens

**Anderson Silveira Buono**

Graduando em Engenharia Elétrica,  
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

**Daniel da Silva Dias**

Graduando em Engenharia Elétrica,  
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

**Geraldo Pereira Chaves Junior**

Graduando em Engenharia Elétrica,  
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

**Thiago Raniel**

Mestre em Engenharia Elétrica (Automação) – UNESP;  
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

**Rogério Henrique Zuliani Scheolin**

Esp. e Bacharel em Engenharia Elétrica – UNESP;  
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas - FITL/AEMS

### RESUMO

Este artigo tem como objetivo demonstrar informações e conceitos da geração de energia fotovoltaica. Visto que a cada dia se buscam novos meios de suprir a demanda de consumo de energia elétrica. Sendo assim as fontes de energias renováveis são um meio alternativo que a cada dia conquista mais espaço no mercado atual, geração essa que tem por finalidade não agredir o meio ambiente através da exploração de fontes de energia que se renova. Dentre essas energias renováveis, a geração fotovoltaica é uma das que mais cresce em todo Brasil, principalmente na cogeração em residências familiares. Devido a estes fatores, o propósito é demonstrar as vantagens e desafios desta fonte de energia que tem um grande benefício a oferecer a todas as pessoas.

**PALAVRAS-CHAVE:** energia fotovoltaica; energia elétrica; energia renovável.

### 1 INTRODUÇÃO

A energia é parte ativa e constituinte da sociedade contemporânea. Para se criar produtos, manufaturar e processar os recursos naturais, fortalecer mercados e economias, manter governos, alimentar o mundo é necessárias fontes confiáveis de energia, desde processos simples até operações complexas, nas áreas urbanas e rurais, nos prédios, nos hospitais, restaurantes, estádios, comunidades, ruas, nas indústrias, nos maquinários agrícolas e pecuários, enfim são infinitas as aplicações que no mundo moderno são dependentes da energia.

Historicamente, avanços tecnológicos e científicos demonstraram a capacidade evolutiva do ser humano sendo, de modo exponencial, impulsionada por

benefícios das descobertas energéticas, e ao mesmo tempo em que esse crescimento se deu, percebem-se as consequências políticas evidenciadas por acontecimentos como o embargo do petróleo em 1973, a revolução Iraniana em 1979, a Guerra do Golfo Pérsico de 1991, a invasão do Iraque em 2003, guerra na Síria e os acontecimentos derivados de tais conflitos, que têm como fontes primárias o interesse econômico pelas áreas estratégicas de exploração energética (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2011).

As políticas de expansão energética têm como objetivo não só a descoberta de novas fontes e o gerenciamento de consumo de energia de modo a economizar recursos, mas prioritariamente a manutenção da vida humana e das condições de sobrevivência ideais para o planeta Terra. É preciso conhecer as consequências ambientais do uso da energia, como as mudanças climáticas, o efeito estufa e as chuvas ácidas que são relacionadas à queima de combustíveis fósseis; as possíveis contaminações radioativas causadas por acidentes em usinas nucleares e os efeitos ambientais causados pelos alagamentos que formam os lagos das usinas hidroelétricas.

Uma das alternativas de crescimento sustentável e ecológico é a exploração de fontes renováveis de impacto ambiental quase nulo, sendo uma delas a energia solar que pode ser explorada por sistemas de geração de energia fotovoltaica e foto térmica, tendo em vista que se tem uma grande quantidade dessa energia recebida pela terra que é pouco aproveitado devido os recentes avanços científicos na área e a baixa viabilidade econômica em função do alto custo de geração, frente a outras fontes como os combustíveis de baixo custo e demais fontes fósseis.

A Energia Fotovoltaica (EFV) é a conversão da energia dos raios solares que é recebida pela placa fotovoltaica em energia elétrica, através da reação dos raios com os materiais contidos nas células que compõem a placa, como o silício por exemplo. Em qualquer lugar onde haja incidência de forma direta ou indireta de raios solares é possível a exploração energética, podendo, em função de o local ser eficiente ou não.

No fim da cadeia de poder de qualquer país ou instituição está o indivíduo como parte integrante desse sistema e, como elétrons que são conduzidos por condutores, são também as pessoas guiadas por entre as entranhas da história que faz mudar e se adaptar ao ambiente ao redor, o que torna cada indivíduo, mesmo

tão pequeno nesse turbilhão de fatos, muito importantes para a preservação da sua própria existência.

O mundo atual é o mundo da informação no qual se tem acesso a inúmeros conteúdos de modo que informação é evolução. Para se proporcionar uma evolução dos sistemas elétricos de forma correta e sustentáveis, é preciso ter informações confiáveis e dados disponíveis para todas as classes intelectuais de forma compreensível e atrativa.

Muitas vezes as informações sobre a evolução energética no Brasil chegam de forma ineficiente a população cotidiana, e os avanços são pouco disseminados nas instituições de ensino médio e até superiores. A energia fotovoltaica é explorada em situações residenciais e comerciais por isso a importância de todos terem conhecimento sobre essa modalidade de geração.

Para desenvolvimento da proposta apresentada neste trabalho, foram estudados temas julgados relevantes, visando elucidar as escolhas adotadas. É apresentado o referencial teórico composto por assuntos relacionados ao tema.

## **2 OBJETIVOS**

O presente trabalho tem como objetivo geral demonstrar e despertar no público geral o interesse pelo conhecimento das novas tecnologias de exploração da energia solar e as políticas que são desenvolvidas como incentivo ao desenvolvimento sustentável, as normas existentes e as projeções para o desenvolvimento da matriz de produção de energia solar no Brasil.

## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

Este artigo foi elaborado tendo em vista a literatura vasta e de boa qualidade, baseado em pesquisas a livros, revistas, artigos e sites que realizam diversos estudos sobre o tema pesquisado. Todos os dados reunidos foram analisados e submetidos à revisão por meio de leituras, discussões e estudos para assim ser compilado este conteúdo.

O processo utilizado como metodologia foi a execução de pesquisas bibliográficas em diversos materiais referenciados ao tema proposto, realizando leituras analíticas, discussões e interpretações, para assim ser definido quais materiais seriam utilizados no artigo.

## 4 ENERGIA FOTOVOLTAICA

### 4.1 História e Conceitos de Geração da Energia Fotovoltaica

Em 1839, foi o ano em que Alexandre Edmond realizou a descoberta da energia solar, que, ao realizar experiências utilizando eletrodos identificou que quando ficavam expostos a raios solares, os mesmos geravam uma leve diferença de potencial, fenômeno este que foi batizado de efeito fotovoltaico (EBES, 2011).

Somente em 1884, ano este que foi desenvolvida a primeira célula fotovoltaica que utilizava selênio, que possuía uma baixa eficiência de apenas 1%. Somente quando Albert Einstein realizou uma explicação sobre diversos estudos científicos que houve uma significativa evolução no processo de geração de energia solar fotovoltaica. Mas foi em 1954, 115 anos depois que foi desenvolvida pelo laboratório da Bell com a ajuda de diversos pesquisadores a primeira célula fotovoltaica, que utilizava silício com uma eficiência de aproximadamente 6% (EBES, 2011).

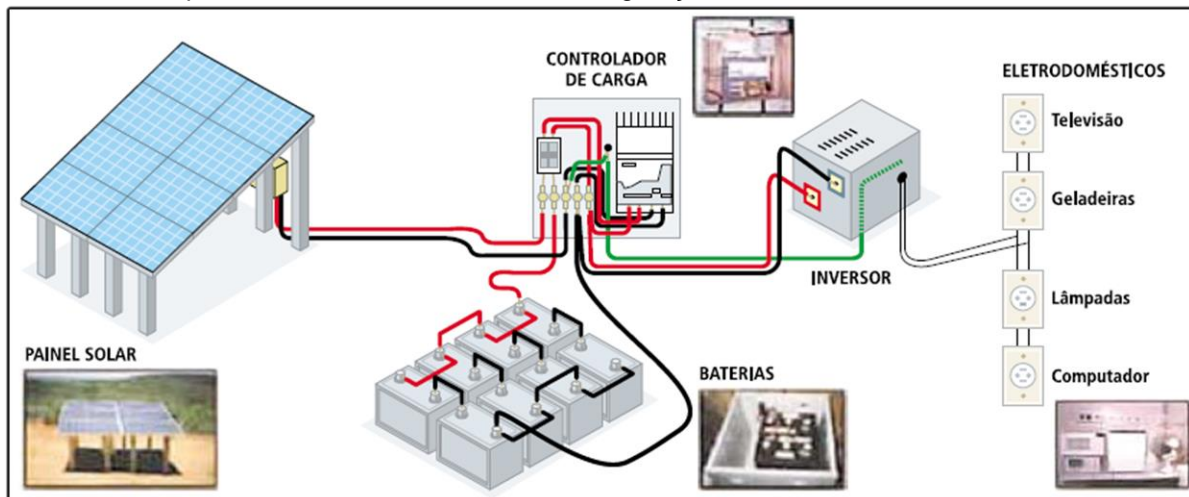
A geração de energia fotovoltaica acontece quando as células fotovoltaicas são expostas aos raios solares, e tais células os absorvem e os convertem em energia elétrica, mas para que isso ocorra existem diversos processos que serão exemplificados a seguir (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Primeiramente, recorre-se como exemplo à célula de silício cristalino, que é comumente encontrada no mercado. A mesma é composta por material semicondutor do tipo P e N, camada positiva e negativa, que possuem uma isolação de material antirreflexo que ajuda na absorção da luz do sol, quando expostas aos raios solares, tem por finalidade a recepção dos fótons, que são emitidos pelo sol, através dos raios solares, que permitem a liberação dos elétrons, movimentando-se para a sua parte inferior de forma ordenada, gerando o efeito fotoelétrico. Para se alcançar níveis de tensão para consumo é necessário interligar as células fotovoltaicas formando os módulos ou painéis fotovoltaicos, e assim consegue-se tratar a potência gerada de modo a se realizar processos de conversão com maior eficiência e menores perdas com chaveamento (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A Figura 1, de forma simples, ilustra um sistema fotovoltaico que a forma de onda da energia gerada é controlada por controladores de cargas que são responsáveis pela estabilização da geração, os painéis solares geram corrente contínua (CC) e essa corrente é convertida em corrente alternada (CA) pelos

inversores que são responsáveis por proporcionarem a sincronização da forma de onda da energia gerada, esses inversores são dimensionados conforme a demanda e podem trabalhar em sincronismo com a rede elétrica e também é possível utilizar bancos de baterias para se armazenar energia.

**Figura 1. Ilustração de um sistema de geração de energia elétrica.** Esquema que, de forma didática, exemplifica o hardware de um sistema de geração fotovoltaico.



Fonte: Extraído de BRITO, 2007.

#### 4.2 Cenário do Sistema de Geração Solar no Brasil

O território brasileiro possui abundantes e diversificadas oportunidades de exploração energética. É um país privilegiado por estar inserido em uma região, geográfica e ecologicamente diversificada, contando com diversos climas, fontes correntes de água, zonas costeiras e oceânicas, reservatórios fósseis, incidência de correntes de ar (ventos) em áreas específicas, e grande incidência de raios solares no território brasileiro.

Como análise da Tabela 1, de autoria do Ministério de Minas e Energia (MME) (MME, 2018), pode-se inferir que a energia solar é uma opção com grande potencial de crescimento no mundo e principalmente no Brasil, que busca se estruturar através de programas governamentais de incentivo ao estudo e criação de tecnologias e regulamentações que promovam o movimento das pessoas jurídicas, e até as físicas, ao objetivo traçado pelo governo para o crescimento da fatia energética de origem solar.

Registre-se o grande crescimento em porcentagem entre os anos de 2016 e 2017 da energia solar: 875,6%. Contudo, comparando-se à produção de energia eólica, que registrou um aumento de 26,5% no mesmo período, pode-se perceber

que a energia solar ainda é uma fonte energética pouco explorada em relação a outras renováveis. A tabela ainda indica que as fontes não renováveis como óleo, gás natural, carvão tiveram retração na produção como resultado das políticas de produção energética renovável (MME, 2018).

**Tabela 1. Crescimento de produção e representatividade na Matriz Energética Brasileira.**

ESPECIFICAÇÃO	GWh		17/16 %	Estrutura (%)	
	2016	2017		2016	2017
HIDRÁULICA	380.911	370.906	-2,6	61,5	59,4
BAGAÇO DE CANA	35.236	35.655	1,2	5,7	5,7
EÓLICA	33.489	42.373	26,5	5,4	6,8
SOLAR	85	832	875,6	0,01	0,13
OUTRAS RENOVÁVEIS (a)	15.805	15.617	-1,2	2,6	2,5
ÓLEO	12.103	12.733	5,2	2,0	2,0
GÁS NATURAL	56.485	65.593	16,1	9,1	10,5
CARVÃO	17.001	16.257	-4,4	2,7	2,6
NUCLEAR	15.864	15.739	-0,8	2,6	2,5
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS (b)	11.920	12.257	2,8	1,9	2,0
IMPORTAÇÃO	40.795	36.355	-10,9	6,6	5,8
<b>TOTAL (c)</b>	<b>619.693</b>	<b>624.317</b>	<b>0,7</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
<i>Dos quais renováveis</i>	<i>506.320</i>	<i>501.739</i>	<i>-0,9</i>	<i>81,7</i>	<i>80,4</i>

**Fonte:** Extraído DE RESENHA ENERGÉTICA BRASILEIRA, 2018 – ano base 2017, editada pelo Ministério de Minas e Energia (MME, 2018).

Apesar de a energia solar ser uma fatia pequena da matriz energética brasileira, pode-se ver que o crescimento é considerável em relação as matrizes energéticas que não são renováveis.

Alguns projetos implantados no Brasil podem ser citados, dentre eles a instalação de 5 MWp em painéis fotovoltaicos em regiões isoladas através do Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios entre 1994 e 2002, que atendia instalações comunitárias, como postos de saúde e escolas, nestes locais (SILVA, 2014).

### 4.3 Energia Fotovoltaica

A matéria utilizada para fabricação das células fotovoltaicas é o silício, pois têm competitividade no mercado. O processo de fabricação das placas se inicia com o derretimento da sílica ( $\text{SiO}_2$ ), que posteriormente é solidificada de modo que haja um arranjo perfeito dos átomos de silício através de um processo conhecido como processo de Csocharlski. Após a formação do cilindro sólido do silício, este cilindro é fatiado e dopado a 1° camada com impurezas de fósforo, o que gera o polo negativo

e a 2° camada é dopada com impurezas de boro formando o polo positivo da placa, formando-se assim uma junção  $p-n$ . Esse processo forma as células fotovoltaicas, conhecidas como monocristalinas (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2011).

As células fotovoltaicas são as mais comumente disponibilizadas no mercado para uso em processos de conversão de energia solar em eletricidade, pois a técnica utilizada em sua fabricação possui alto grau de confiabilidade (CRESESB, 2005).

Um grande empecilho na produção desse tipo de célula está no alto custo de produção e no consumo elevado de energia. Na fabricação desse tipo de célula exige-se um alto grau de pureza sendo estabelecido um valor na faixa de bilionésimo por cento. É utilizado processos químicos para atingir a pureza exigida (OLIVEIRA, 2008).

Existem técnicas que surgiram para se criar cristais com custo reduzido e com eficiência considerável. As células de silício policristalino, também conhecido por multicristalino, as células se parecem com cristais de gelo, devido a reordenação dos cristais em sua formação, são inúmeros grãos de cristais únicos de silício que são embalados de forma aleatória (JACKSON, 2007).

O silício policristalino é produzido de forma barata e simples de modo que os custos de manufatura se reduzem, mas em contrapartida pode se ter uma eficiência de produção considerável que vai de 10% a 15% (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2011). O controle exige técnicas menos rigorosas que influencia na qualidade e aproveitamento da célula, que é entorno de 13 a 14% (IEI, 2009).

Outro tipo de silício usado na fabricação de células fotovoltaicas é o silício amorfo ou silício filme-fino, que tem propriedades diferentes do silício cristalino pelo fato de ser fabricado com uma estrutura atômica desordenada. Este tipo de célula tem eficiência entre 5% e 10%, sendo que essa eficiência pode cair com o tempo em função da exposição à luz. Outros tipos células superfinais podem ser confeccionadas com outros materiais como telureto de cádmio, o sulfeto de cádmio, arseneto de gálio e biseleneto de cobre, índio e gálio (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2011).

Por possuírem camadas superfinais com espessura de aproximadamente  $1\mu\text{m}$  que se moldam a projetos arquitetônicos, de modo que se torne mais fácil o manuseio e a instalação, reduzindo o espaço nas instalações dos painéis

fotovoltaicos, com eficiência de aproximadamente de 19% e com avanço das pesquisas espera-se aumentar esse valor (IEA, 2008).

#### **4.4 Vantagens e Desvantagens da Energia Solar**

Embora seja considerada uma energia limpa e que não agride o meio ambiente, ela também apresenta suas vantagens e desvantagens, seguem-se algumas delas para melhor entendê-las.

Alto custo para aquisição: atualmente no Brasil para se adquirir um equipamento de geração de energia fotovoltaico, deve-se desembolsar um valor significativo, e devido a esta desvantagem, fica limitado o público que pode ter acesso a essa tecnologia (SILVA, 2014).

Baixo rendimento de geração: por possuir uma baixa capacidade de geração, mesmo com os custos elevados da energia elétrica no Brasil, sua rentabilidade se estende por um longo período (SILVA, 2014).

Dependente do clima: apesar dos estudos sobre o local ideal para se realizar a instalação dos painéis fotovoltaicos, se houver alguma anomalia no clima, a geração de energia elétrica pode ser comprometida durante essa anomalia (SILVA, 2014).

Os impactos diretos causados ao meio ambiente pela exploração da EFV são basicamente nulos. As placas e componentes do sistema não emitem qualquer tipo de substância, energia ou ruídos, os impactos causados são basicamente relacionados a aspectos visuais quando se trata de sistemas de grande porte, mas em se tratando de sistemas residenciais para minimizar a poluição visual pode-se aproveitar telhados, coberturas e superfícies existentes (SILVA, 2014).

Os impactos indiretos são provocados durante a fabricação dos sistemas, ou pelos resíduos gerados por manutenções, como os processos de fabricação dos diversos arranjos de silício demandam grandes quantidades de energia nas diferentes etapas, em países onde as matrizes energéticas são baseadas em combustíveis fósseis, as emissões de gases de efeito estufa geram impactos ambientais. Pode-se citar ainda o fato de que a utilização de materiais altamente tóxicos para a realização da dopagem do silício pode emitir gases com toxicidade considerável, caso não seja feito um controle adequado da emissão de gases (SILVA, 2014).

É uma excelente fonte de energia em locais não atendidos por outras fontes de energia. A energia hidrelétrica, mais consumida no Brasil, não chega a locais de difícil acesso ou com grandes dificuldades para instalação de torres e cabos de energia elétrica. Uma grande vantagem da EFV (Energia Fotovoltaica) é que a fonte de energia é abundante, pode-se dizer que quase infinita, e isso a torna uma fonte de energia que pode ser explorada sem a preocupação ou a racionalização da sua “matéria-prima”, todos podem em local ensolarado de forma correta explorar esse meio de geração, sendo estes os benefícios de trabalhar com a EFV (TRAZZI, 2010).

Os módulos são de fácil manuseio, o que facilita sua montagem e desmontagem, manutenção e transporte que apesar de serem frágeis têm peso consideravelmente baixo e são modulares o que otimiza o espaço de armazenamento e transporte. Podem ser instalados em locais projetados ou adaptados a locais através de suportes ou modificações nas estruturas civis.

Os custos de manutenção podem variar muito em função de fatores geográficos e métodos de operação, mas em geral se após sua instalação, os gastos com manutenção dos equipamentos são muito baixos, com necessidade apenas de limpeza e verificações quando necessário (SILVA, 2014).

Diversidade de locais de aplicação: devido ser versátil, atinge diversos tipos de consumidores, desde os locais mais isolados até as residências dentro das grandes cidades.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

De acordo com os fatos citados acima, não há nenhuma dúvida de que a energia fotovoltaica é umas das mais promissoras fontes de energia existentes na atualidade, apesar de ainda possuir uma pequena parcela na geração energética não só no Brasil, mas também em todo mundo, recebe grandes investimentos tecnológicos e econômicos para assim baratear seu custo e aumentar seu rendimento energético.

Mesmo sendo considerada energia renovável, que não degrada o meio ambiente, não geram resíduos e poluição sonora como a Eólica, ainda assim possui muitos desafios para serem superados, como a respeito da poluição visual em grandes instalações, já que não é possível a adaptação em telhados e superfícies, e

o fato de que, em sua produção, demanda uma quantidade de energia considerável com uso de combustíveis fósseis, contribuindo para emissão de gases.

Mas devido ser um meio de geração simples, sustentável e rentável em longo prazo, que permite uma autonomia energética mesmo em lugares mais remotos, sua exploração merece uma maior atenção para se obter um melhor aproveitamento de seus recursos devido a necessidade atual, e visando um futuro mais sustentável para o planeta Terra.

A princípio, o sistema fotovoltaico é considerado de alto custo para a população de baixa renda, mas em longo prazo, torna-se um recurso alternativo de baixo custo. Contudo essa alternativa se torna de grande valor na produção energia elétrica, pois de acordo com os estudos, o custo do kWh da energia fotovoltaica é 76% mais barata em relação à energia produzida pelas usinas hidrelétricas, o que beneficiaria grande parte da população.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA – IEA. World Energy Outlook. 2008.

Ministério de Minas e Energia – MME. Resenha Energética Brasileira, 2018. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/Imprensa-e-Midias/Documents/Resenha%20Energ%C3%A9tica%202018%20-MME.pdf>>. Acesso em: 9 jul. 2018.

BRITO, S. S. Energia solar princípios e aplicações. [Online]. 2007. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial\\_solar.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_solar.pdf)>. Acesso em: 9 jul. 2018.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EOLICA – CRESESB. Energia solar: princípios e aplicações. 2005. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

ENERGIA ELÉTRICA SOLAR – EBES. Energia solar fotovoltaica: origem e importância para os dias atuais. 2011. Disponível em: <<http://ebes.com.br/energia-solar-fotovoltaica-origem-e-importancia-para-os-dias-atuais/>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. Energia e meio ambiente. São Paulo: Cengage Learning, 2011. Tradução técnica da 4. ed. norte-americana.

IEI. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil. Panorama da atual legislação. International Energy Initiative para a América Latina. Campinas-SP, 2009.

JACKSON, F. Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers, architects and engineers. 2. ed. London: Earthscan, 2007.

OLIVEIRA, H. E. Tecnologia fotovoltaica em filmes finos: películas delgadas. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2008.

SILVA, E. P. Fontes renováveis de energia. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

TRAZZI, G. L. Vantagens e desvantagens da energia solar. 2010. Disponível em: <[https://www.suapesquisa.com/energia/energia\\_solar\\_vantagens\\_desvantagens.htm](https://www.suapesquisa.com/energia/energia_solar_vantagens_desvantagens.htm)>. Acesso em: 15 mai. 2018.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações – sistemas isolados e conectados à rede. São Paulo: Érica, 2012.