

**ENEI**

Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação

FACE-UFMG

Inovação, Sustentabilidade e Pandemia

10 a 14 de maio de 2021

# Perspectiva multiníveis no setor elétrico brasileiro: recomendações para difusão da energia solar fotovoltaica

Rafael Marcuzzo (Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC);

Silvio Antonio Ferraz Cario (Departamento de Economia e Relações Internacionais, UFSC);

Mauricio Uriona Maldonado (Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC);

Caroline Rodrigues Vaz (Departamento de Engenharia Têxtil, UFSC);

---

## Resumo:

A energia solar fotovoltaica apresenta potencial de mitigação da emissão de gases do efeito estufa no setor de eletricidade. A queda nos preços e o aumento na eficiência da tecnologia solar tem habilitado viabilidade comercial e sua participação nas matrizes elétricas, porém ainda apenas de maneira incipiente. Mas afinal, por que a fotovoltaica não cresce mais? Para investigar essa questão, o objetivo desse trabalho é analisar a dinâmica do regime de eletricidade e do nicho emergente da energia solar fotovoltaica à medida que competem e respondem às pressões do ambiente, sob ótica do framework Perspectiva Multiníveis. Como estudo de caso é utilizado o Brasil, em que algumas iniciativas políticas têm sido testadas para incentivar a difusão de sistemas fotovoltaicos, porém com pouco sucesso diante do potencial de irradiação solar que o País dispõe. Os resultados levantam debate para futuros trabalhos de análise da interdependência que a tecnologia mantém com os sistemas políticos, sociais e econômicos. O estudo conclui demonstrando principais contribuições e implicações políticas bem como sugerindo pesquisas futuras na área de energia em países em desenvolvimento.

## Palavras-chave:

Transições para Sustentabilidade; Perspectiva Multiníveis; Energia Solar Fotovoltaica

## Código JEL:

O33

## Área Temática:

7.3 Inovação, Desenvolvimento e Sustentabilidade

---

## 1. Introdução

Os desafios para a sustentabilidade no domínio energético têm sido cada vez mais reconhecidos e estudados, principalmente tendo em vista incertezas de segurança no abastecimento dos consumidores. Além do suprimento de energia ser confrontado com um rápido esgotamento dos recursos naturais, também há questões relacionadas a poluição do ar e emissões de gases de efeito estufa, riscos nucleares, incertezas relacionadas à segurança do suprimento a curto e a longo prazo e pobreza energética (IRENA; IEA; REN21, 2018; PARAG; SOVACOOOL, 2016).

Em particular, o acesso a serviços modernos de energia de baixo carbono, de eficiência energética e fontes renováveis são considerados os três pilares da transição para sustentabilidade no setor energético (GIELEN; BOSHELL; SAYGIN, 2016). A fonte solar demonstra potencial para auxiliar nessa transição energética e ganhou um impulso significativo como uma fonte competitiva, sendo considerada peça central nas políticas climáticas, econômicas e de transições energéticas (KUBLI; ULLI-BEER, 2016; JIMENEZ; FRANCO; DYNER, 2016).

Nos últimos anos, devido ao declínio dos custos da tecnologia de energia solar fotovoltaica (FV) e à excelente disponibilidade solar, o governo brasileiro e o setor elétrico começaram a avaliar e considerar a inovação como um sério colaborador potencial para a matriz nacional de eletricidade (NASCIMENTO et al., 2020). Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR, 2019), a potência FV instalada no Brasil, até julho de 2019, é de 5,76 GW (sendo 2,92 GW centralizada e 2,83 GW distribuída). Isso representa apenas 2% da matriz elétrica brasileira, mesmo dispondo de radiação solar ideal em boa parte do território.

Alguns fatores apontados como responsáveis pelo diminuto da FV no Brasil são a disponibilidade hídrica, a existência de grandes infraestruturas (usinas hidrelétricas e termelétricas), o campo regulatório (insegurança jurídica) e as políticas de desenvolvimento (SCHIMDT; CANCELLA; PEREIRA JR., 2016; BRADSHAW; JANNUZZI, 2019).

Imersos nesses fatores dificultosos, governo, investidores e associações de energias renováveis brasileiras têm agido por vezes sem coordenação com anseios dos consumidores e das concessionárias (CARSTENS; CUNHA, 2019; FARIA JR; TRIGOSO; CAVALCANTI, 2017). Em um mercado com mais de 84 milhões de consumidores de energia elétrica, não é difícil perceber a complexidade que envolve uma busca por soluções equilibradas e sustentáveis (ANEEL, 2019).

Sob esse contexto desafiador e promissor para a FV, o presente estudo questiona como o regime de energia elétrica brasileiro tem se comportado considerando a presença e viabilidade da FV? Para tentar elucidar essa questão, este trabalho tem como objetivo analisar o regime de energia elétrica brasileiro e o nicho da tecnologia FV através da lente teórica da perspectiva multiníveis (MLP, do inglês *multilevel perspective*).

Modelos analíticos de transições sociotécnicas, como a MLP, são adequados para estudar transições para sustentabilidade (uma subárea da inovação) devido ao caráter holístico e temporal á que servem, bem como pelos apontamentos da literatura na área de energia (LOORBACH; ROTMANS, 2010; MARKARD; HOFFMANN, 2016; SOVACOOOL, 2016). A MLP habilita analisar de forma hierárquica e abrangente um sistema sociotécnico de produção e consumo. Através do relacionamento de vários conceitos e utilizando pesquisa empírica, pode-se identificar padrões recorrentes e lições generalizáveis nos sistemas analisados pela ferramenta (SMITH; VOß; GRIN, 2010; GEELS, 2011).

O artigo está dividido em cinco capítulos, sendo o primeiro esta introdução com problemática e objetivos. O segundo capítulo traz o referencial teórico com uma seção com definições e modelos analíticos de transições e outra seção sobre o setor elétrico brasileiro. O terceiro capítulo apresenta aspectos metodológicos da pesquisa e o quarto capítulo descreve e discute os resultados enquanto o quinto capítulo traz as considerações finais e as recomendações de trabalhos futuros.

## 2. Referencial Teórico

### 2.1 Transições para sustentabilidade

Uma transição pode ser entendida como conjunto de mudanças fragmentadas (tecnologia, economia, instituições, comportamento, cultura, ecologia e sistemas de crenças) que são conectadas e se reforçam mutuamente, acabando por influenciar todo o sistema. Entretanto, a direção, a escala e a velocidade de

uma transição dessas não pode ser controlada inteiramente (ROTMANS; KEMP; VAN ASSELT, 2001).

O processo de transição é cheio de obstáculos, barreiras e surpresas, dificilmente ocorrendo bem, pelo contrário; na maioria dos casos de transição há caos e desespero. Esse tipo temporário de confusão faz parte da divergência inerente ao processo de transição e pode estimular a criatividade dos participantes (LOORBACH; ROTMANS, 2010).

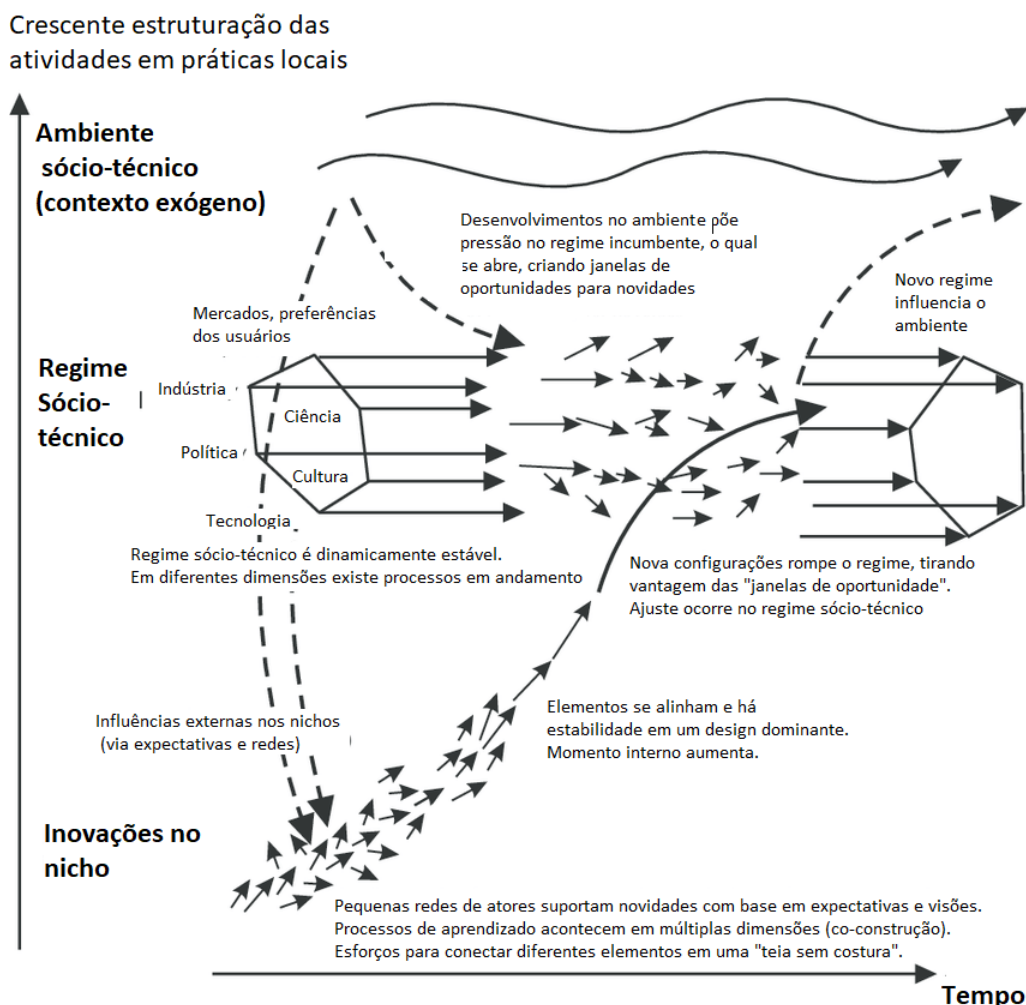
De forma sucinta, o desenvolvimento, a difusão e o uso de tecnologias de energia renovável - e de tecnologias limpas em geral - está no centro do campo de pesquisa conhecido como transições para sustentabilidade, uma subárea da inovação (MARKARD; TRUFFER, 2008; SOVACOOOL, 2016).

Devido ao interesse compartilhado em desenvolver sociedades mais sustentáveis, várias estruturas de análise de mudanças e difusões tecnológicas (radicais) foram propostas para estudar sistemas sociotécnicos, incluindo a MLP (PAPACHRISTOS, 2011; URIONA-MALDONADO; VAZ, 2017).

Diversos estudos têm analisado transições no regime energético (WILKINSON; DAVIDSON; MORRISON, 2020; DÓCI; VASILEIADOU; PETERSEN, 2015; STRUNZ, 2014; DI LUCIA; ERICSSON, 2014) em âmbito internacional, enquanto tantos outros focaram no Brasil (JOHNSON; SILVEIRA, 2014; BRADSHAW; JANNUZZI, 2019; CARSTENS; CUNHA, 2019; SOLOMON; KRISHNA, 2011). Em suma, o que esses estudos de transições buscam enfatizar é o papel das interconexões e dinâmicas sociais (de grupo ou de rede) na mudança e inércia do sistema.

Operacionalmente, a lente teórica MLP conceitua os processos de transição como envolvendo a interação do desenvolvimento em três níveis analíticos: nicho (o lugar das inovações radicais), regime sociotécnico (o lugar das práticas estabelecidas e regras associadas que permitem e restringem os atores históricos em relação a sistemas existentes) e um ambiente sociotécnico exógeno (GEELS, 2004). A Figura 1 ilustra a estrutura conceitual da MLP.

Figura 1 – Dinâmica da perspectiva multiníveis



Fonte: Adaptado de Geels (2002).

A MLP entende as transições sociotécnicas como decorrentes do ponto culminante das pressões do ambiente, dos problemas do regime e da disponibilidade de inovações de nicho para aproveitar as janelas de oportunidade e deslocar a configuração sociotécnica existente (ROSENBLOOM; BERTON; MEADOWCROFT, 2016). As reconfigurações ocorrem quando desenvolvimentos em vários níveis se vinculam e se reforçam (GEELS, 2002).

Os regimes são configurações relativamente estáveis de instituições, técnicas e artefatos, bem como regras, práticas e redes que determinam o desenvolvimento e o uso 'normais' de tecnologias (RIP; KEMP, 1998). Os elementos no nível do regime são estáveis porque estão interligados e esses vínculos são mantidos e reproduzidos pelo alinhamento e coordenação de diferentes grupos de atores (PAPACHRISTOS, 2011).

Quando novos elementos são introduzidos no regime, eles podem desencadear mudanças adicionais no nível exógeno que, por sua vez, pode criar novas pressões e oportunidades no regime. Nesse ponto, um fator determinante para mudanças é o surgimento de atores especializados direcionando suas atividades para melhorar e expandir o novo elemento (GEELS, 2002).

À medida que a tecnologia se estabelece, podem ser tomadas medidas para reduzir a proteção oferecida pelo nicho. O feedback positivo por meio do aprendizado iterativo e da adaptação institucional ocorre e, ao criar um pouco de irreversibilidade na direção certa, o processo de transição é levado adiante. Caminhos de transição são criados na tentativa de percorrê-los (RIP; KEMP, 1998).

Disso resulta que a coordenação intergrupo e o alinhamento de atividades são importantes. Essa coordenação envolve as regras cognitivas e de engenharia compartilhadas, cientistas, formuladores de políticas, usuários e grupos de interesses especiais (GEELS; SCHOT, 2007).

A interação entre múltiplos grupos sociais altera a estabilidade e modifica uma parte (regime) de um sistema sociotécnico (PAPACHRISTOS, 2011). Esses sistemas não funcionam de forma autônoma, pois são o resultado das atividades dos atores humanos que estão inseridos em grupos sociais que compartilham certas características (responsabilidades, normas, percepções). Muitos desses grupos sociais são especializados e estão relacionados a recursos e subfunções institucionalizadas (GEELS, 2004).

Como dispõem de informações incompletas e capacidade mental limitada de processamento, seres humanos impõem restrições às suas interações, a fim de estruturar as trocas de bens e serviços de acordo com hierarquia de poder. Infelizmente, isso não significa que as instituições consequentes sejam eficientes, pelo contrário, exatamente por basearem-se em ideologias resultam em mercados imperfeitos (NORTH, 2016).

Apesar da imperfeição, instituições são os tipos de estruturas que mais importam no campo social, pois são as regras do jogo de uma sociedade ou, mais formalmente, são as restrições criadas que estruturam a interação humana. Exemplos são as regras formais (lei estatutária, lei comum, regulamentos), restrições informais (convenções, normas de comportamento e regras de comportamento auto impostas) e as características de aplicação de ambos (HODGKINSON et al., 2006; NORTH, 2016).

Para estudar o funcionamento de um sistema, é preciso considerar a coordenação e estruturação das atividades em que as instituições estão inseridas nesses sistemas sociais (GEELS, 2004). Sistemas sociais são abrangentes e compreendem sociedades profissionais, associações comerciais, agências governamentais, organizações independentes de pesquisa e coordenação e organizações de serviço público (REDDY; ARAM; LYNN, 1991).

No setor de energia as mudanças têm sido mais intensas devido ao debate sobre aquecimento global e sobre a sustentabilidade das ações humanas (PARAG; SOVACOL, 2016). Nos países em desenvolvimento, que em geral tem mercados energéticos menores, as transições de sustentabilidade podem ocorrer mais fácil e rapidamente, mas para isso as dependências comerciais e tecnológicas devem ser vencidas. Nesse ponto, as decisões políticas têm papel crucial (RUBIO; FOLCHI, 2012).

O Brasil é um dos países em vias de desenvolvimento, mas que tem um mercado muito grande devido sua vasta extensão territorial. Além disso, o Brasil tem regime de energia elétrica fortemente controlado pelo Estado e dependente majoritariamente da fonte hídrica. Apesar disso, o país está estimulando e apoiando o investimento em geração alternativa e renovável (BEN, 2019).

Em alguns casos, porém, esse suporte pode ter impactos negativos no mercado. O uso de tecnologias não totalmente controladas pelas empresas domésticas pode promover um aumento nos preços de mercado da energia convencional devido aos altos custos de construção e operação dessas empresas, baseadas nos sistemas convencionais (FARIA JR; TRIGOSO; CAVALCANTI, 2017). Logo,

analisar as atividades e fenômenos atuais do setor energético no Brasil é de importante valia para habilitar melhor compreensão sobre os possíveis desafios do presente e do futuro.

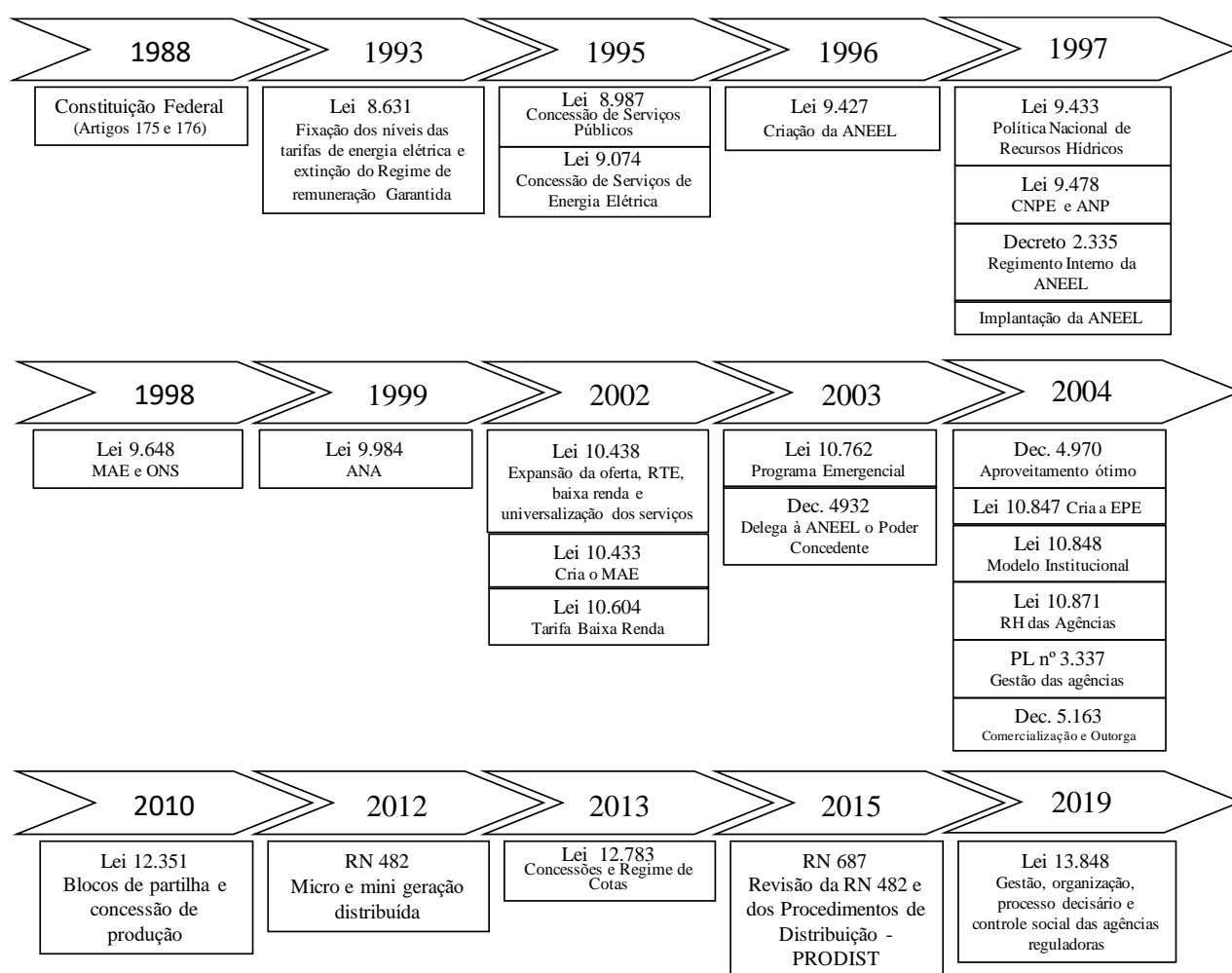
## 2.2 Setor de energia elétrica no Brasil

Pode-se considerar o início das atividades brasileiras no setor de energia elétrica quando entrou em operação a primeira usina hidrelétrica, em 1883. Na sequência, surgiram as primeiras legislações disciplinando o uso da energia elétrica no País, em 1903 e, após, em 1943 teve início a criação de companhias estaduais e federais. Na década de 60, foram criados o Ministério de Minas e Energia (MME) órgão do governo federal responsável pela condução das políticas energéticas do país, a Eletrobrás para coordenar o setor e o Departamento Nacional de Águas e Energia para regular o mesmo (CUNHA et al., 2008).

Em 1988, com o surgimento da Constituição Federal, o texto específico sobre o setor elétrico deixou evidente a competência da União em todo o contexto relacionado ao setor. Logo, a maioria das companhias e dos ativos de geração de energia estiveram sempre sob controle governamental. Apenas em 1996 ocorreram algumas privatizações em companhias e ativos do setor, com a criação da agência reguladora (AQUILA et al., 2017).

A Figura 2 ilustra o desenrolar sumário desses e alguns outros fatos importantes para o setor elétrico brasileiro.

Figura 2 – Marco legal do setor elétrico brasileiro



Fonte: Baseado em ANEEL (2019a).

Destacam-se alguns fatos mais importantes dessa coletânea, como em 1996 quando surgiu a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica e em 1997 foi instituído o Conselho Nacional de Política

Energética (CNPE) para formulação de políticas e diretrizes de energia que assegurem o suprimento de insumos energéticos a todas as áreas do país (CCEE, 2018).

Em 1998 foi criado o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), responsável por supervisionar e controlar a geração de energia elétrica no Sistema Integrado Nacional (SIN) e por administrar a rede básica de transmissão (CUNHA et al., 2008).

Já em 2004 houve a aprovação do novo modelo do setor elétrico e, ao ser implantado, criou novas instituições e alterou funções de outras já existentes. Houve a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), instituição vinculada ao MME cuja finalidade é a prestação de serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético. Já a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) passou a compor o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) (CCEE, 2018).

Em 2012 houve um grande avanço com a regulação RN 482 da ANEEL sobre a geração distribuída (GD) através de fontes renováveis (Resoluções Normativas 482/2012 e 687/2015). Graças a essas ações, o consumidor pode gerar sua energia elétrica a partir de fontes renováveis (central geradora hidrelétrica, eólica, usina fotovoltaica e usina termelétrica) ou cogeração qualificada e fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade (ANEEL, 2018).

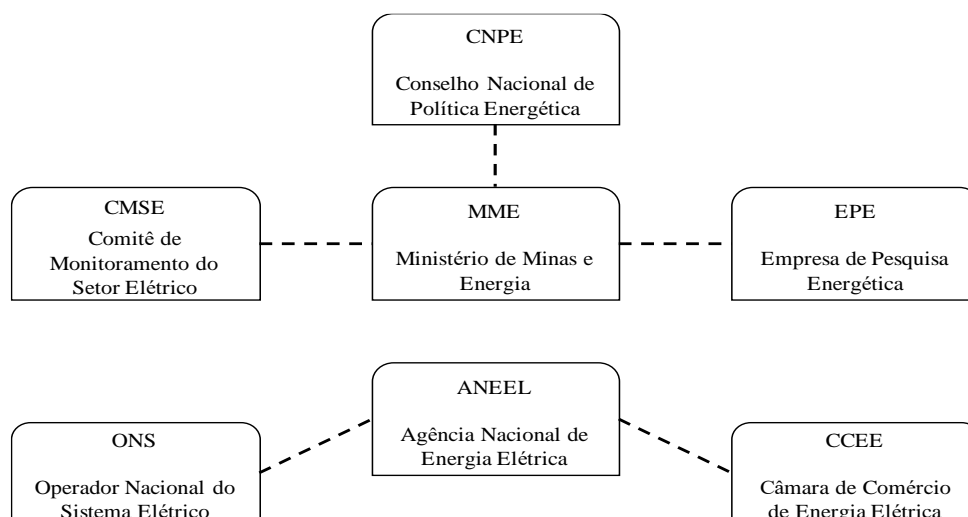
Com a 482/2012 (e a revisão 687 de 2015) novas diretrizes foram criadas para reduzir barreiras à GD. Entre as medidas estavam a simplificação de registro de autoprodutor, a isenção de tarifa de distribuição e o aumento da potência permitida para sistemas de micro e mini geração de energia elétrica.

A GD preconiza pela presença de pequenos (micro e mini) sistemas geradores próximos às unidades consumidoras. O limite para um sistema ser classificado como micro geração é de 75 kW e como mini geração é 5 MW. Já o prazo de validade dos créditos (a energia gerada que não foi consumida) é de 60 meses e é articulado sob uma metodologia *net metering* - sistema de compensação (CONTRERAS LISPERGUER et al., 2019).

Em termos gerais, esse sistema de compensação permite que a energia gerada seja injetada na rede, criando créditos de energia para serem utilizados nos momentos em que o consumo excede a geração de energia elétrica na unidade de consumo (ANEEL, 2018; CONTRERAS LISPERGUER et al., 2019).

Ainda sobre o setor elétrico brasileiro, porém de forma mais macro e estratégica, a atuação das instituições, em forma de estrutura hierárquico-organizacional, pode ser compreendida conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3 – Diagrama institucional do setor elétrico brasileiro



Fonte: Adaptado de CCEE (2018).

Em síntese, os órgãos vinculados ao Ministério de Minas e Energia que atuam no setor de energia elétrica são: autarquias (ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica), sociedades de economia mista (Eletrobrás - Centrais Elétricas Brasileiras S.A) e empresas públicas (CBEE - Comercializadora Brasileira de Energia Emergencial e EPE - Empresa de Pesquisa Energética).

A cerca das responsabilidades principais desses elementos do setor elétrico brasileiro, o Quadro 1 destaca algumas sucintamente.

Quadro 1 – Papéis institucionais no setor elétrico brasileiro

Função	Responsabilidade
Políticas e diretrizes	Congresso Nacional, CNPE, Comitê de Políticas de Infra-estrutura do Conselho de Governo
Planejamento e garantia do equilíbrio entre oferta e demanda	MME (EPE)
Órgão regulador	ANEEL
Supervisão, controle e operação dos sistemas	ONS
Contabilização e liquidação	CCEE
Execução e prestação dos serviços	Agentes G, T, D e C

Fonte: ANEEL (2019b).

O setor energético brasileiro alcançou um ponto proeminente em sua história e tem potencial para transformar os meios de subsistência de milhares por meio de políticas energéticas inovadoras e justas. Como a distribuição de energia elétrica é altamente centralizada e estritamente regulada pelo Estado, é fundamental entender que tipo de perspectivas existem para a difusão da geração FV micro e mini no Brasil (NASCIMENTO et al., 2020; CONTRERAS LISPERGUER et al., 2019; SCHIMDT; CANCELLA; PEREIRA Jr., 2016).

### 3. Procedimentos metodológicos

Este trabalho tem como objetivo geral analisar o regime de energia elétrica brasileiro e o nicho da tecnologia FV através da lente teórica perspectiva multiníveis (MLP).

Utilizando abordagem qualitativa e objetivos exploratório e descritivo, esta pesquisa é norteada pelo questionamento: “como as instituições do regime de energia elétrica brasileiro tem interagido em um sistema sociotécnico mais amplo considerando a presença e viabilidade da FV”?

Buscando encontrar respostas para esse questionamento, organizou-se o estudo nas etapas metodológicas: (i) revisão bibliográfica; (ii) análise e interpretação dos trabalhos encontrados; (iii) análise documental; (iv) descrição e discussão dos resultados; (v) redação das contribuições e implicações políticas.

Inicialmente foi feita uma busca não sistemática na literatura para encontrar estudos relacionando a teoria das transições sociotécnicas com o setor elétrico, especialmente sobre o Brasil. Diante dos trabalhos achados, buscou-se compreender o escopo dos estudos realizados, se teóricos ou empíricos e aspectos metodológicos relacionados (por exemplo, se usou a ferramenta MLP) e os principais achados.

A próxima etapa envolveu a compreensão dos principais resultados desses trabalhos, bem como suas diferenças, recomendações políticas e limitações. Com isso, foi possível criar uma visão compacta e integrada para demonstrar a estrutura do setor elétrico brasileiro sob ótica das transições (MLP).

Com essa estrutura, paralelamente foram sendo discutidos os pontos principais a fim de apontar *insights* relevantes para melhor compreensão dos fatos envolvendo a dinâmica da transição energética no setor elétrico brasileiro. O estudo conclui com apontamento das considerações finais, implicações políticas, limitações e sugestões de pesquisas futuras.

### 4. Resultados e discussões

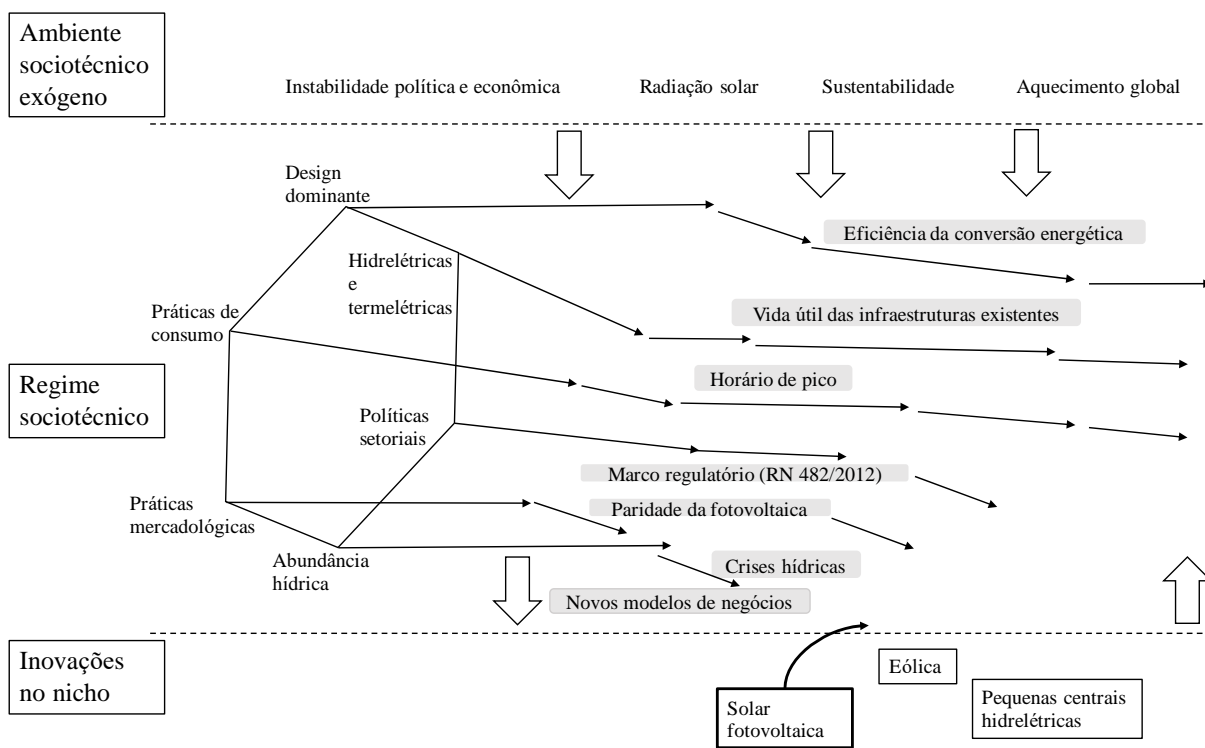
O regime de eletricidade no Brasil mostra estabilidade e continuidade para a predominância de energia de hidrelétricas. Essas hidrelétricas iniciaram juntamente com o histórico do sistema e levaram aos efeitos *lock-in* e *path dependence* (trava e dependência do caminho), uma vez que a infra-estrutura estabelecida para transmissão e distribuição de energia é principalmente em torno das barragens hidrelétricas, sendo difícil modificar esses padrões (CARSTENS; CUNHA, 2019).

Para se ter ideia da dominância do regime tradicional, as centrais elétricas de serviço público participaram com 83,2% (601,4 TWh) da geração total de eletricidade em 2018 no Brasil, resultado 2,0% superior ao de 2017. A geração hídrica cresceu 4,9% no período (BEN, 2019). Analisando a potência FV instalada no Brasil, essa é de apenas 5,76 GW (sendo 2,92 GW centralizada e 2,83 GW distribuída), representando em torno de 2% da matriz elétrica brasileira (ABSOLAR, 2019).

Em busca de compreender os acontecimentos que levaram e mantém o setor elétrico brasileiro na

situação atual, dando ênfase para os relacionados com a FV, buscas literárias e documentais habilitaram esquematizar a Figura 4, através da estrutura da MLP.

Figura 4 – Perspectiva multiníveis no setor elétrico brasileiro



Atualmente, a FV no Brasil está em desenvolvimento tecnológico, típico da fase de nicho. Como encontra-se em seu processo de desenvolvimento e amadurecimento, essa tecnologia está imersa em um nicho tecnológico, que depende do reconhecimento de seu valor para evoluir e começar a competir com outras tecnologias já estabelecidas no sistema (CARSTEN; CUNHA, 2019; BRADSHAW; JANNUZZI, 2019).

Nesse momento são formadas redes que têm a função de transformar o regime através da criação de mercado e mobilização de recursos que possibilitem a difusão da tecnologia, por exemplo através de associações, eventos e empresas. Essa pressão sobre o regime ainda requer autoridades públicas com direcionamento a favor da difusão e convergência com organizações privadas das novas tecnologias, para legitimá-las (SOLOMON; KRISHNA, 2011).

No nível do regime sociotécnicos é um pouco diferente, o setor do país não sofreu nenhuma mudança estrutural importante desde a criação da maioria das concessionárias estaduais e do Sistema Eletrobrás. Existe uma forte presença estatal no setor, com políticas governamentais de caráter regulador e taxas fixadas pelo governo. Dentre algumas mudanças mais significativas, o modelo híbrido atual (composto por empresas públicas e privadas) permite a competitividade do mercado, embora não totalmente, uma vez que é regulado de várias maneiras pelas resoluções do governo (BRADSHAW; JANNUZZI, 2019).

Apesar de indícios de que o regime brasileiro de eletricidade está abrindo janelas de oportunidades para o nicho da FV, a falta de tecnologia produzida em solo brasileiro continua sendo uma das principais barreiras ao desenvolvimento da energia solar. A produção de painéis fotovoltaicos e outros equipamentos no Brasil seria um grande salto para o barateamento dessa fonte (FARIA JR; TRIGOSO; CAVALCANTI, 2017).

Os formuladores de políticas e as autoridades públicas têm um papel central no financiamento de tecnologias inovadoras e mais sustentáveis e no desenvolvimento institucional. No passado, as questões de sustentabilidade eram menos importantes e os formuladores de políticas tinham que ser pressionados pelos movimentos sociais (ambiente exógeno) para fazer cumprir uma legislação mais exigente. Mais recentemente, formuladores de políticas têm sido constrangidos pelo relacionamento com públicos mais amplos, além de atores do setor (FARLA et al., 2012).

Nesse sentido, grupos sociais poderiam mobilizar-se e novos atores poderiam surgir, para além daqueles discutidos na seção 2.2. Um mapa das partes interessadas do setor da FV poderia ser dividido em



sete grupos principais de atores (CARSTENS; CUNHA, 2019; SOLOMON; KRISHNA, 2011):

- indústria FV: composta pelas indústrias de painéis, sindicato de empresas e trabalhadores, pequenos empresários e inovações de *start-ups*;
- associações e ONGs: consistindo principalmente em associações FV, agências de cooperação e organizações não-governamentais de natureza tecnológica e ambiental. As principais organizações desse grupo são: ISES (Sociedade Internacional de Energia Solar) e ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica) e a ABGD (Associação Brasileira de Geração Distribuída);
- educação e formação profissional: universidades e instituições de ensino;
- geração fotovoltaica distribuída: micro geradores, especialmente cooperativas residenciais e rurais;
- geração fotovoltaica centralizada: grandes usinas fotovoltaicas. Para esse grupo, os atores mais importantes são organizações multinacionais de energia, que geralmente vencem os leilões no país;
- financiamento: bancos internacionais e nacionais, cooperativas de crédito nos níveis regional e local e outras empresas financeiras;
- instituições governamentais: MME, EPE e ANEEL como principais atores, uma vez que são responsáveis pelo desenvolvimento de políticas públicas e pela definição da natureza da energia nacional planejamento de sistema. O governo também poderia criar órgão interdepartamental ou uma entidade externa de tomadores de decisão públicos e privados responsáveis pelo gerenciamento da transição;
- outros atores: corretores de energia renovável, comunidades para estilos de vida sustentáveis em energia ou produtores de novas tecnologias energéticas.

A entrada de novos atores no setor doméstico de energia solar poderia introduzir novas habilidades e trocas e possibilitar o aprendizado e o consequente desenvolvimento de novas tecnologias para a energia solar brasileira (CARSTENS; CUNHA, 2018).

A diversificação de agentes produz complementaridades que desempenham um papel crucial nas transições sociotécnicas, pois aceleram o desenvolvimento ou o declínio da tecnologia. A falta de componentes complementares, por outro lado, pode dificultar o surgimento de novas tecnologias ou afetar negativamente o desempenho do setor (MARKARD; HOFFMANN, 2016).

A persuasão de vários entes diferentes imersos em contextos institucionais requer o uso de mecanismos de apoio. Os mecanismos promocionais fiscais, tributários e regulatórios têm sido essenciais para o desenvolvimento de serviços auxiliares as fontes renováveis de energia. O Quadro 2 apresenta e descreve brevemente algumas opções.

Quadro 2 – Formas de incentivo a fontes renováveis

Incentivo	Descrição
Incentivo no imposto de renda	Restituição no imposto de renda pela declaração de investimento em sistema fotovoltaico (usado nos EUA e na França)
Incentivos fiscais em equipamentos e instalação	Esse tipo de incentivo pode ser essencialmente concedido pelo governo federal sobre impostos federais e estaduais
Tarifas de Incentivo ( <i>feed in tariff</i> )	Taxa devolvida à rede elétrica a partir de uma fonte de geração de eletricidade renovável. Existem em mais de 40 países ao redor do mundo.
Cotas e certificados verdes negociáveis	Eletricidade renovável vendida no mercado de eletricidade e negociada por certificados em um mercado separado. Os certificados são exigidos por fornecedores ou consumidores de eletricidade
Leilões	Esquemas de licitação competitivos projetados para incorporar uma certa quantidade de geração renovável (licitantes com menor preço ganham)
Incentivos fiscais e créditos tributários	Políticas focadas na redução de custos e na melhoria da competitividade (ex.: concessões de capital, créditos fiscais de investimento, créditos fiscais de produção e financiamento de terceiros)

Fonte: Baseado em Faria Jr, Trigoso e Cavalcanti (2017) e Bradshaw e Jannuzzi (2019).

Além desses mecanismos potenciais de incentivo as renováveis, condições especiais de financiamento também poderiam ser utilizadas para incentivar um número maior de agentes a investir na geração FV. Por exemplo, os trabalhadores brasileiros registrados recebem um benefício usado para

auxiliá-los em caso de demissão, denominado FGTS ou fundo de garantia para os empregados. É um depósito mensal, referente a uma porcentagem de 8% do salário do funcionário que o empregador deve depositar em uma conta bancária em nome do funcionário. O MME poderia usar FGTS como uma das fontes de financiamento desse segmento e, assim, estimular o setor de GD (FARIA JR; TRIGOSO; CAVALCANTI, 2017).

Essas medidas de incentivo em geral são viáveis para a indústria e o comércio, mas, para realmente impulsionar a aplicação da FV, devem ser estendidas as diversas classes de consumidores e a burocracia para obter o benefício deve ser reduzida (SOLOMON; KRISHNA, 2011).

No ambiente sociotécnico exógeno, as principais barreiras à FV para o crescimento estão relacionadas à instabilidade política e econômica, o que aumenta o risco de investimento no país e desencoraja grandes investidores, especialmente estrangeiros. Em 2016, três das principais agências globais de classificação de crédito (Fitch, Moody's e Standard & Poor's) reduziram o risco de classificação do país, de categoria de baixo grau de investimento para categoria de especulação, com expectativa negativa, o que significa que ainda há a possibilidade de diminuir ainda mais a classificação (CARSTENS; CUNHA, 2019).

Por outro lado, no ambiente exógeno também há um importante impulso que motiva o desenvolvimento da FV, que é a taxa de radiação solar no Brasil, uma das mais altas do mundo. Entre os esforços no país para avaliar a disponibilidade de radiação solar, destacam-se o Atlas solarimétrico realizado pela Universidade Federal de Pernambuco e o Atlas de irradiação solar no Brasil, realizado pela Universidade Federal de Santa Catarina, ambos apontam que mesmo em regiões com níveis mais baixos de radiação, o Brasil tem um enorme potencial para geração FV (HOLDERMANN; KISSEL; BEIGEL, 2014).

Criar e manter um ambiente adequado para o desenvolvimento de fontes de energia sustentáveis no Brasil envolve planejamento com foco na eficiência energética e no gerenciamento otimizado e eficiente dos recursos. É imperativo que o governo brasileiro crie mecanismos específicos de incentivo à promoção e disseminação da energia solar, a fim de universalizar o acesso da população às tecnologias, bem como promover o desenvolvimento da indústria nacional e a consequente geração de empregos e movimento positivo da população e economia nesse setor (CARSTENS; CUNHA, 2018; BRADSHAW; JANNUZZI, 2019).

O crescimento do setor depende também de um processo de aprendizado que inclua educação formal, conhecimento da população sobre essa fonte de energia, atividade de mercado competitiva e de abertura e desenvolvimento da indústria nacional com adaptação tecnológica para atender às condições nacionais (CARSTEN; CUNHA, 2019).

A incidência de impostos sobre a eletricidade gerada no nível estadual é outro ponto que precisa ser abordado. Os Estados devem isentar os usuários dessa coleção para incentivar a geração FV e não a usar como uma maneira de aumentar o orçamento. São Paulo é um exemplo de estado que eliminou a cobrança, mas outros ainda cobram a eletricidade consumida e gerada pelos consumidores de serviços públicos (BRADSHAW; JANNUZZI, 2019).

Outro ponto é que as concessionárias de distribuição não estão preparadas para receber grandes quantidades de geração ou reverter fluxos de energia em circuitos, sem precisar fazer reforços ou investir em tecnologias de controle e proteção. É por isso que os consumidores residenciais não podem injetar mais energia na rede do que a demanda instalada de acordo com a regulamentação vigente (FARIA JR; TRIGOSO; CAVALCANTI, 2017; SOLOMON; KRISHNA, 2011).

Isso reforça um campo conflitante. Por um lado, destacam-se os problemas (aumento da complexidade de operação da rede, a dificuldade na cobrança pelo uso do sistema elétrico, a eventual incidência de tributos) e por outro os benefícios (postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão, baixo impacto ambiental, melhoria do nível de tensão da rede no horário de pico e diversificação da matriz energética) da GD à sociedade (ANEEL, 2018).

Em suma, a energia solar deve crescer, mas ainda há muito a ser feito para consolidá-la na matriz energética brasileira e o processo de desenvolvimento de tecnologia no contexto mundial mostrou que é assim mesmo, difícil. A existência de várias barreiras (técnicas, econômicas, sociais, gerenciais e políticas) à difusão da FV no Brasil também ocorre, podendo ser elencadas como (FARIA JR; TRIGOSO; CAVALCANTI, 2017; GARLET et al., 2019):

- baixa qualidade dos sistemas fotovoltaicos;
- alto custo do investimento inicial;
- dependência do financiamento para a compra de painéis solares;
- cultura do consumidor;
- desconhecimento da tecnologia fotovoltaica;

- ineficientes serviços pós-venda;
- dependência de importações de painéis solares da China;
- falta de políticas para incentivar a geração fotovoltaica;
- pouca regulamentação específica;
- falta de um padrão de conexão;
- dificuldades na medição da energia gerada;
- problemas de gerenciamento de sistemas operando em paralelo com a rede;
- necessidade de uma licença ambiental para registro;
- incerteza sobre a implementação de mecanismos de incentivo.

O reconhecimento das adversidades é o primeiro passo para a superação dessas. Operacionalmente, é necessário pressionar o sistema bloqueado existente e evitar os critérios usados para medir o desempenho das tecnologias estabelecidas. As forças sociais são essenciais para tanto e os instrumentos políticos genéricos também podem ser úteis, contanto que haja vontade de aplicar os instrumentos da maneira que preconizam (NEGRO; ALKEMADE; HEKKERT, 2012).

A formulação de políticas também precisa considerar mecanismos que beneficiem a taxa de adoção de inovações sem perder de vista as decisões de capacidade de fabricação, por exemplo, a legitimidade das tecnologias para explorar como as transições e a difusão de tecnologias verdes podem ocorrer (URIONA-MALDONADO; GROBBELAAR, 2018; BOHNSACK; PINKSE; WAELPOEL, 2016).

Destarte, os grandes desafios relacionados à sustentabilidade permanecem sem solução, exigindo esforços contínuos e uma aceleração das transições em andamento. Os estudos de transição podem desempenhar um papel fundamental nesse sentido, criando novas perspectivas, abordagens e compreensão e ajudando a mover a sociedade na direção da sustentabilidade (KÖHLER et al., 2019).

## 5. Considerações finais

Os esforços científicos e tecnológicos estão há tempo criando e melhorando soluções para setores estratégicos, como as energias renováveis alternativas, mas ainda estão sendo refinadas e sujeitas aos atrasos na sua difusão pelos efeitos *path-dependence* e *lock-in* do regime sociotécnico vigente. Retirar da atividade (ou diminuir significativamente) um paradigma tecnológico que proporcionou tantos benefícios a humanidade por mais de cem anos é difícil, mas com orientação e colaboração de diferentes agentes e instituições pode-se compreender melhor os elementos e interações e auxiliar no direcionamento da sustentabilidade das transições.

Somente a criação e implementação de mecanismos políticos de maneira descoordenada não é suficiente para tornar um nicho emergente parte de um regime estável, principalmente em economias ainda em desenvolvimento, como a brasileira.

Sobre principais recomendações políticas, é que se atente e investiguem como ampliar os programas e iniciativas estaduais de energia renovável. Em um país continental como o Brasil, em que condições geopolíticas e climáticas são muito variáveis, os dispositivos legais federais não conseguem abranger a diversidade cultural, natural e política estadual.

No tocante aos dispositivos legais também há divergências sobre quanto o regulador tem que interferir no assunto, principalmente quando se tratam de inovações. Mesmo que a ANEEL objetive regular o mínimo possível para não impor barreiras a todas as inovações tecnológicas que vem pela frente, a falta de articulação com outras esferas do governo, indústria e consumidores causa distorção para com o objetivo primordial que é o bem social.

De fato, a transição para sustentabilidade no setor de eletricidade brasileiro é um processo de longo prazo e levará alguns anos para crescer e se tornar representativa no sistema de energia, considerando o nicho da FV. Entretanto, à medida que essa e outras novas tecnologias mais sustentáveis começam a ser vistas como oportunidades e não ameaças, como esse artigo buscou apresentar, elas podem se espalhar melhor pelo setor e ganhar legitimidade.

As limitações desse trabalho residem na (i) análise de uma única fonte de energia, (ii) na falta de teor empírico e (iii) no aspecto metodológico. Para sanar essas três restrições é útil (i) realizar comparativos com outras fontes alternativas renováveis, como eólica e biomassa, (ii) utilizar entrevistas com atores do regime de eletricidade para triangular suas opiniões com informações da literatura e (iii) adaptar a ferramenta de análise de transições sociotécnicas (MLP), que tem origens em contexto europeu, para países latino americanos.

Baseando-se nos resultados dessa pesquisa, sugestões finais de pesquisas futuras seriam aprofundar a relação entre instituições governamentais (e o poder que exercem pelas legislações e

regulamentações), consumidores e indústrias, considerando os anseios, oportunidades e dificuldades igualmente entre os mesmos. Uma das sugestões para operacionalizar esse tipo de pesquisa é através de técnicas de simulação de cenários, para auxiliar a compreender interações políticas diversas e seus efeitos na difusão tecnológica.

---

## Multilevel perspective on the Brazilian electrical sector: recommendations for photovoltaic technology diffusion

### Abstract:

Photovoltaic solar energy has the potential to mitigate the emission of greenhouse gases in the electricity sector. The drop in prices and the increase in the efficiency of solar technology has enabled commercial viability and its participation in the electric matrices, but still only in an incipient way. But after all, why doesn't photovoltaics grow anymore? To investigate this question, the objective of this work is to analyze the dynamics of the electricity regime and the emerging niche of photovoltaic solar energy as they compete and respond to environmental pressures, from the perspective of the Multilevel Perspective framework. As a case study, Brazil is used, in which some political initiatives have been tested to encourage the diffusion of photovoltaic systems, but with little success in view of the potential for solar irradiation that the country has. The results raise debate for future work to analyze the interdependence that technology maintains with political, social and economic systems. The study concludes by demonstrating key contributions and policy implications as well as suggesting future research in the field of energy in developing countries.

**Keywords:** Sustainability Transitions; Multilevel Perspective; Solar Photovoltaic Energy

### Referências bibliográficas

- ABSOLAR. (2019). Associação Brasileira de Energia Solar. <http://absolar.org.br/infografico-absolar-.html>. Acesso: 1.jul.
- ANEEL. (2018). Agência Nacional de Energia Elétrica. Revisão das regras aplicáveis à micro e mini geração distribuída - Resolução Normativa no 482/2012. Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 0004/2018-SRD/SCG/SMA/ANEEL.
- ANEEL. (2019). Agência Nacional de Energia Elétrica. Geração Distribuída - Sala de Imprensa. [http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset\\_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1gw-em-geracao-distribuida/656877](http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1gw-em-geracao-distribuida/656877)
- ANEEL. (2019a). Agência Nacional de Energia Elétrica. Biblioteca virtual. <http://biblioteca.aneel.gov.br/index.html>.
- ANEEL. (2019b). Agência Nacional de Energia Elétrica. Retrospectiva Aneel 2019. <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/15495819/Retrospectiva+ANEEL+-+2019/73fd2b23-c540-8548-f7bd-554702f74133?version=1.0>
- AQUILA, Giancarlo et al. An overview of incentive policies for the expansion of renewable energy generation in electricity power systems and the Brazilian experience. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, p. 1090-1098, 2017.
- BEN. (2019). Balanço Energético Nacional 2019: Ano base 2018 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2019. <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relatório%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>.
- BOHNSACK, René; PINKSE, Jonatan; WAELPOEL, Anneloes. The institutional evolution process of the global solar industry: The role of public and private actors in creating institutional shifts. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 20, p. 16-32, 2016.
- BRADSHAW, Amanda; DE MARTINO JANNUZZI, Gilberto. Governing energy transitions and regional economic development: Evidence from three Brazilian states. **Energy Policy**, v. 126, p. 1-11, 2019.
- CARSTENS, Danielle Denes; DA CUNHA, Sieglinde Kindl. Challenges and opportunities for the growth of solar photovoltaic energy in Brazil. **Energy policy**, v. 125, p. 396-404, 2019.

CARSTENS, Danielle Denes; DA CUNHA, Sieglinde Kindl. Solar energy growth in Brazil: essential dimensions for the technological transition. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 8, n. 4, p. 293, 2018.

CCEE. (2018). Câmara de Comércio de Energia Elétrica. Com que se relaciona. [https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/onde-atuamos/com\\_quem\\_se\\_relaciona?\\_afzLoop=262215774813310#!%40%40%3F\\_afzLoop.%3D262215774813310%26\\_adf.ctrl-stat%3D9g0aw5lmy\\_4](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/com_quem_se_relaciona?_afzLoop=262215774813310#!%40%40%3F_afzLoop.%3D262215774813310%26_adf.ctrl-stat%3D9g0aw5lmy_4).

CONTRERAS LISPERGUER, Rubén et al. Distributed photovoltaic generation in Brazil: Technological innovation, scenario methodology and regulatory frameworks. 2019.

CUNHA, Eldis Camargo Neves da. **Os usos da água para geração de energia elétrica e a sustentabilidade jurídico-ambiental**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DI LUCIA, Lorenzo; ERICSSON, Karin. Low-carbon district heating in Sweden—Examining a successful energy transition. **Energy Research & Social Science**, v. 4, p. 10-20, 2014.

DÓCI, Gabriella; VASILEIADOU, Eleftheria; PETERSEN, Arthur C. Exploring the transition potential of renewable energy communities. **Futures**, v. 66, p. 85-95, 2015.

DE FARIA JR, Haroldo; TRIGOSO, Federico BM; CAVALCANTI, João AM. Review of distributed generation with photovoltaic grid connected systems in Brazil: Challenges and prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 75, p. 469-475, 2017.

FARLA, J. C. M. et al. Sustainability transitions in the making: A closer look at actors, strategies and resources. **Technological forecasting and social change**, v. 79, n. 6, p. 991-998, 2012.

GARLET, Taís Bisognin et al. Paths and barriers to the diffusion of distributed generation of photovoltaic energy in southern Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 111, p. 157-169, 2019.

GEELS, Frank W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. **Research policy**, v. 31, n. 8-9, p. 1257-1274, 2002.

GEELS, Frank W. From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. **Research policy**, v. 33, n. 6-7, p. 897-920, 2004.

GEELS, Frank W. The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. **Environmental innovation and societal transitions**, v. 1, n. 1, p. 24-40, 2011.

GEELS, Frank W.; SCHOT, Johan. Typology of sociotechnical transition pathways. **Research policy**, v. 36, n. 3, p. 399-417, 2007.

GIELEN, Dolf; BOSHELL, Francisco; SAYGIN, Deger. Climate and energy challenges for materials science. **Nature materials**, v. 15, n. 2, p. 117-120, 2016.

HODGKINSON, Gerard P. et al. The role of strategy workshops in strategy development processes: Formality, communication, co-ordination and inclusion. **Long range planning**, v. 39, n. 5, p. 479-496, 2006.

HOLDERMANN, Claudius; KISSEL, Johannes; BEIGEL, Jürgen. Distributed photovoltaic generation in Brazil: An economic viability analysis of small-scale photovoltaic systems in the residential and commercial sectors. **Energy Policy**, v. 67, p. 612-617, 2014.

IRENA, IEA e REN21 (2018), 'Renewable Energy Policies in a Time of Transition'. IRENA, OECD/ IEA and REN21. [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/06/17-8622\\_Policy\\_FullReport\\_web\\_FINAL.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/06/17-8622_Policy_FullReport_web_FINAL.pdf).

JIMENEZ, Maritza; FRANCO, Carlos J.; DYNER, Isaac. Diffusion of renewable energy technologies: The need for policy in Colombia. **Energy**, v. 111, p. 818-829, 2016.

JOHNSON, Francis X.; SILVEIRA, Semida. Pioneer countries in the transition to alternative transport fuels: comparison of ethanol programmes and policies in Brazil, Malawi and Sweden. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 11, p. 1-24, 2014.

KÖHLER, Jonathan et al. An agenda for sustainability transitions research: State of the art and future directions. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 31, p. 1-32, 2019.

KUBLI, Merla; ULLI-BEER, Silvia. Decentralisation dynamics in energy systems: A generic simulation of network effects. **Energy Research & Social Science**, v. 13, p. 71-83, 2016.

LOORBACH, Derk; ROTMANS, Jan. The practice of transition management: Examples and lessons from four distinct cases. **Futures**, v. 42, n. 3, p. 237-246, 2010.

- MARKARD, Jochen; HOFFMANN, Volker H. Analysis of complementarities: Framework and examples from the energy transition. **Technological forecasting and social change**, v. 111, p. 63-75, 2016.
- MARKARD, Jochen; TRUFFER, Bernhard. Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. **Research policy**, v. 37, n. 4, p. 596-615, 2008.
- NASCIMENTO, Lucas Rafael et al. Performance assessment of solar photovoltaic technologies under different climatic conditions in Brazil. **Renewable Energy**, v. 146, p. 1070-1082, 2020.
- NEGRO, Simona O.; ALKEMADE, Floortje; HEKKERT, Marko P. Why does renewable energy diffuse so slowly? A review of innovation system problems. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 16, n. 6, p. 3836-3846, 2012.
- NORTH, Douglass C. Institutions and economic theory. **The american economist**, v. 61, n. 1, p. 72-76, 2016.
- PAPACHRISTOS, Georg. A system dynamics model of socio-technical regime transitions. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 1, n. 2, p. 202-233, 2011.
- PARAG, Yael; SOVACOL, Benjamin K. Electricity market design for the prosumer era. **Nature energy**, v. 1, n. 4, p. 1-6, 2016.
- REDDY, N. Mohan; ARAM, John D.; LYNN, Leonard H. The institutional domain of technology diffusion. **Journal of Product Innovation Management: AN INTERNATIONAL PUBLICATION OF THE PRODUCT DEVELOPMENT & MANAGEMENT ASSOCIATION**, v. 8, n. 4, p. 295-304, 1991.
- RIP, Arie et al. Technological change. **Human choice and climate change**, v. 2, n. 2, p. 327-399, 1998.
- ROSENBLOOM, Daniel; BERTON, Harris; MEADOWCROFT, James. Framing the sun: A discursive approach to understanding multi-dimensional interactions within socio-technical transitions through the case of solar electricity in Ontario, Canada. **Research Policy**, v. 45, n. 6, p. 1275-1290, 2016.
- ROTMANS, Jan; KEMP, René; VAN ASSELT, Marjolein. More evolution than revolution: transition management in public policy. **foresight**, 2001.
- RUBIO, Md Mar; FOLCHI, Mauricio. Will small energy consumers be faster in transition? Evidence from the early shift from coal to oil in Latin America. **Energy Policy**, v. 50, p. 50-61, 2012.
- SCHMIDT, Johannes; CANCELLA, Rafael; PEREIRA JR, Amaro O. The role of wind power and solar PV in reducing risks in the Brazilian hydro-thermal power system. **Energy**, v. 115, p. 1748-1757, 2016.
- SMITH, Adrian; STIRLING, Andy; BERKHOUT, Frans. The governance of sustainable socio-technical transitions. **Research policy**, v. 34, n. 10, p. 1491-1510, 2005.
- SMITH, Adrian; VOß, Jan-Peter; GRIN, John. Innovation studies and sustainability transitions: The allure of the multi-level perspective and its challenges. **Research policy**, v. 39, n. 4, p. 435-448, 2010.
- SOLOMON, Barry D.; KRISHNA, Karthik. The coming sustainable energy transition: History, strategies, and outlook. **Energy Policy**, v. 39, n. 11, p. 7422-7431, 2011.
- SOVACOL, Benjamin K. How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions. **Energy Research & Social Science**, v. 13, p. 202-215, 2016.
- STRUNZ, Sebastian. The German energy transition as a regime shift. **Ecological Economics**, v. 100, p. 150-158, 2014.
- URIONA-MALDONADO, Mauricio; RODRIGUES VAZ, Caroline. The evolution of sustainability transitions and technological innovation systems research: a bibliometric analysis. In: **15th Globelics International Conference, Athens, Greece**. 2015.
- URIONA, Mauricio; GROBBELAAR, Sara S. Innovation system policy analysis through system dynamics modelling: A systematic review. **Science and Public Policy**, v. 46, n. 1, p. 28-44, 2019.
- WILKINSON, Sam; DAVIDSON, Michael; MORRISON, Gregory M. Historical transitions of Western Australia's electricity system, 1880-2016. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 34, p. 151-164, 2020.