

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E NOVOS MODELOS DE NEGÓCIOS: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA SOBRE O MODELO P2P

Mariana Matos Firmeza

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

Cláudio Albuquerque Frate - cafrate10@gmail.com

Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica

Ana Teresa Caldas Araripe

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Mecânica

Paulo Cesar Marques de Carvalho

Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica

7.1. Estratégias e políticas para energias renováveis

Resumo. *A necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, juntamente com os avanços nas tecnologias de comunicação e informação, tem impulsionado o sucesso da expansão de diversos tipos de comunidades de geração compartilhada de caráter prossumerista. Isso tem aberto espaço para a criação de novos e promissores modelos de negócios. Entre esses modelos, a transação entre pares (P2P) se destaca, visto que é capaz de atender às necessidades locais de empreendedorismo, emprego, renda e serviços ancilares, ao mesmo tempo em que contribui para a redução das emissões de carbono exigida pela crise climática global. O presente artigo tem como objetivo realizar uma revisão bibliométrica sobre a aplicação do modelo P2P como plataforma de transação de eletricidade gerada a partir de microssistemas fotovoltaicos (FV). Para isso, foram revisadas publicações a partir de 2015, totalizando 40 artigos científicos. Por meio da revisão desses artigos, foram determinadas suas áreas de foco, abordando os benefícios da implementação do modelo P2P, seus impulsionadores, barreiras e desafios, estudos de casos e direções futuras. Dos artigos selecionados, 25% focam na análise de modelos de negócios, 17,5% exploram os impactos do comércio de energia P2P, 45% abordam as aplicações, desafios e oportunidades e 12,5% são relacionados às tecnologias empregadas nesse tipo de modelo de negócio. Especificamente para o Brasil, os autores recomendam pesquisas capazes de mapear perfis arquetípicos individuais de produção e consumo de energia de adotantes de telhados FV, assim como suas disposições para tornarem-se prossumidores. Espera-se que tais pesquisas fomentem inovações sociotécnicas no setor elétrico, proporcionando aos consumidores maior autonomia, capacidade de comércio, e opções para gerenciar de forma inovadora suas relações com a energia.*

Palavras-chave: Fotovoltaica, Prossumerismo, Par-a-par.

1. INTRODUÇÃO

As novas tecnologias de comunicação e informação - quando aplicadas na geração distribuída de eletricidade - tem propiciado a criação de modelos de negócios prossumeristas capazes de contribuir para descarbonização dos sistemas elétricos (Rathnaayaka et al., 2014; Parag e Sovacool, 2016; Herbes et al., 2017; Brown et al., 2019; Hostink et al., 2021; Grzanic et al., 2022). Segundo Hostink et al. (2021), entende-se por prossumerismo o fenômeno que se refere a cidadãos que estão ativamente produzindo, autoconsumindo ou armazenando energia, e/ou vendendo ou compartilhando seus excedentes de energia em mercados varejistas de energia, individual ou coletivamente, por exemplo por meio de comunidades energéticas. Brown et al. (2019), por exemplo, sumarizaram sete arquetipos de modelos de negócios prossumeristas: (i) Modelo Básico, (ii) Micro Rede, (iii) Empresa Local de Energia, (iv) Provedor Flexível de Serviço, (v) Empresa de Serviços de Energia, (vi) Provedor de Serviço de Mobilidade, e (vii) o modelo Par para par. No modelo básico, os sistemas de geração distribuída são instalados atrás do medidor, sem envolvimento direto do prossumidor. No modelo de rede privada, ou micro-rede, um operador local privado mantém a posse e o controle da rede de distribuição. A empresa de energia local retém a energia gerada no local, criando uma espécie de rede privada virtual, com tarifa própria. O provedor de serviço de flexibilidade opera otimizando a tensão e equilibrando a oferta e demanda em tempo real. As empresas de serviço de energia oferecem aos consumidores serviços de qualidade e confiabilidade, e não apenas distribuição de energia. O modelo de provedor de serviço de mobilidade permite o carregamento de veículos elétricos (VE) com energia solar convertida no local. E finalmente, o modelo par para par, foco desse artigo, permite que os prossumidores negociem energia diretamente entre si por meio de plataformas digitais ou agregadores.

Assim, com a crescente demanda por sistemas de conversão de recursos energéticos renováveis nos últimos anos, observou-se um crescimento no número de artigos científicos sobre o modelo P2P (Espe et al., 2018; Khan, 2019; Kirchhoff e Strunz, 2019; Hackbarth e Lobbe, 2020; Heo et al., 2021; Gunarathna et al., 2022; Zhou e Lund, 2023; Xia et al., 2023a; Sahebi et al., 2023). Espe et al. (2018) destacam a importância dos prossumidores para a sustentabilidade e

eficiência do compartilhamento de energia descentralizado. Khan et al. (2019) corroboram com essa visão, apontando que o modelo de negócio P2P é vantajoso devido à flexibilidade de compra e venda de eletricidade, resiliência a desastres naturais e redução de desperdícios. Xia et al. (2023a) apontam tal modelo como eficaz para uma distribuição eficiente do excedente. Kirchoff e Strunz (2019) ressaltam a ascensão de micro-redes como um modelo facilitador do compartilhamento P2P. Hackbarth et al. (2020) enfatizam que a viabilidade econômica desse modelo depende das regulamentações, e que essa abordagem oferece aos participantes um papel mais ativo na transição energética. Zhou e Lund (2023) complementam, afirmando que não só proporciona benefícios econômicos, mas também melhora a eficiência do sistema, apoia a gestão do controle de tensão, e mitiga o estresse na rede elétrica. Gunarathna et al. (2022) destacam que, apesar dos benefícios promissores, a aplicação prática do modelo P2P ainda é limitada no mundo real, enquanto Sahebi et al. (2023) e Heo et al. (2021) são otimistas e afirmam que o modelo P2P é uma das formas mais promissoras para expandir a geração distribuída e enfrentar os problemas ambientais.

Na Fig. 1 é apresentado o arquétipo operacional do modelo P2P. Neste caso, com o comércio de eletricidade P2P, os prossumidores podem compartilhar os benefícios da conversão própria de eletricidade com as comunidades às quais pertencem, incentivando ainda mais a economia de energia e a expansão da geração distribuída (IRENA, 2020).

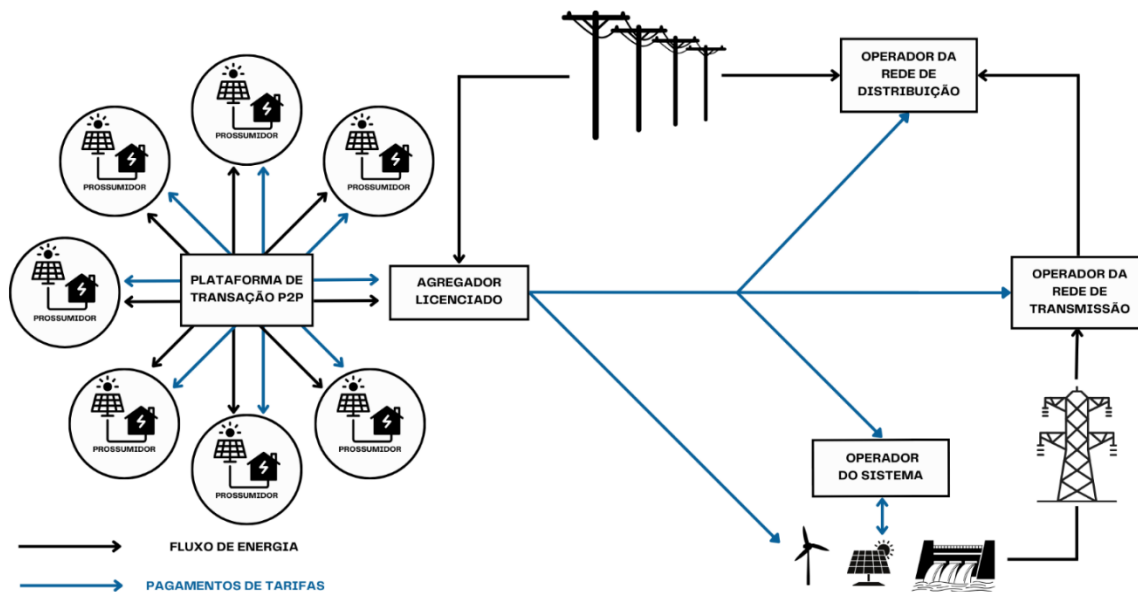


Figura 1 - Arquétipo P2P (adaptado de Brown et al, 2019).

Especificamente para o caso do Brasil, os cientistas da área de energia também têm envidado esforços de estudos sobre os modelos de negócios P2P (Xavier et al., 2015; Barbosa et al., 2020; Botelho et al., 2022; Antonioli et al., 2022). Botelho et al (2022), por exemplo, apontam que a perspectiva de um sistema energético mais descentralizado deve ser considerada diante das mudanças tecnológicas, empresariais e da matriz energética brasileira. Antonioli et al. (2022) defendem que o papel principal das unidades prossumidoras fotovoltaicas (FV) é reduzir os custos de eletricidade e apoiar a geração distribuída de maneira descentralizada e sustentável. Xavier et al. (2015) afirmam que o modelo de micro rede pode potencializar a viabilidade econômica de sistemas FV. Barbosa et al. (2020) analisam um mercado centrado no consumidor simulado no setor elétrico brasileiro, destacando a necessidade de redesenhar os atuais mercados de eletricidade, assim como redefinir os papéis e as responsabilidades dos diversos agentes de mercados.

Perante o exposto, o presente artigo tem como objetivo realizar uma revisão bibliométrica sobre a aplicação do modelo P2P como plataforma de transação de eletricidade gerada a partir de microssistemas FV. Para isso, esta revisão examina diversas linhas de pesquisa associadas ao tema e discute suas tendências predominantes, abordando questões como as vantagens da adoção do modelo P2P, os fatores que o impulsionam, os obstáculos que enfrenta, estudos de caso e perspectivas futuras, entre outros temas pertinentes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa, para assegurar uma bibliometria bem fundamentada, optamos por nos apoiar exclusivamente em artigos científicos para a coleta e análise de dados. Isso, em razão da autoridade e confiabilidade que tais fontes detêm no ambiente acadêmico-científico. É imperativo destacar que, ao nos concentrarmos estritamente em artigos científicos, reconhecemos que a amplitude das tendências bibliométricas podem ter sido condicionadas; entretanto, essa especificidade metodológica visa assegurar um protocolo de pesquisa robusto, minimizando variáveis e incertezas.

2.1 Seleção e análise dos artigos

Com o objetivo de construir uma base sólida para a pesquisa acadêmica, este trabalho se fundamentou exclusivamente em plataformas de pesquisa renomadas para identificar e selecionar artigos científicos pertinentes, recorrendo especificamente ao Google Scholar, Elsevier e IEEE Xplore. A pesquisa nas plataformas foi conduzida por meio da busca simultânea das palavras-chaves: “peer-to-peer”, “photovoltaics” e “prossumerism”. Foram selecionadas publicações a partir do ano 2015, com foco maior em artigos mais recentes. Além disso, apesar da grande maioria dos artigos sobre o tema serem dedicados a países do hemisfério Norte, também examinamos artigos dedicados ao Brasil. Inicialmente, foram identificados 65 artigos que poderiam ser relevantes para o estudo. Uma primeira triagem foi realizada analisando o título e o resumo de cada um, excluindo aqueles que não estavam alinhados ao tema desejado. Esse processo resultou na seleção dos artigos mais pertinentes, garantindo a consistência com os objetivos do trabalho. Para aprimorar ainda mais a seleção, restringimos, por meio de análise de conteúdo, os artigos que melhor se adequavam e eram mais pertinentes aos objetivos da pesquisa. Como resultado, 40 artigos científicos foram selecionados para aprofundar a bibliometria, cujo resultados estão apresentados nessa revisão de forma concisa e efetiva.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, é realizada uma análise exploratória detalhada, discutindo os resultados obtidos a partir dos artigos revisados, de modo a formar conexões significativas e expandir nosso entendimento sobre o modelo de negócio P2P. Ao promover a síntese e a bibliometria dos artigos analisados, oferecemos perspectivas inovadoras e identificamos tendências emergentes no domínio da pesquisa, enriquecendo a percepção e o conhecimento sobre o assunto.

3.1 Classificação dos artigos

Cada um dos 32 artigos apresenta perspectivas sobre uma gama de temas interconectados, contribuindo para uma análise rica e multidimensional dos conceitos centrais. Uma avaliação metódica dos textos revelou padrões e semelhanças nas abordagens de pesquisa. Com isso, agrupamos os artigos em categorias distintas, facilitando uma análise temática mais focada e organizada. As categorias determinadas são:

- 1 Análise de Modelos de Negócios (10 artigos);
- 2 Impactos do Comércio de Energia P2P (7 artigos);
- 3 Aplicações, Desafios e Oportunidades (18 artigos);
- 4 Tecnologias Empregadas (5 artigos).

A primeira categoria compreende apenas artigos que apresentam análises dos modelos de negócios envolvendo comércio de energia P2P e prossumerismo. A segunda categoria identifica e discute as implicações do comércio P2P em diferentes áreas de estudo, como implicações econômicas, sociais, políticas e regulamentares. A terceira categoria trata das aplicações, dos desafios e das oportunidades. Por fim, a quarta categoria de tecnologias empregadas determina artigos que analisam o papel das tecnologias emergentes no suporte ao comércio de energia P2P. Na Fig. 2 é representada a quantidade de artigos resumidos em função das categorias estabelecidas.

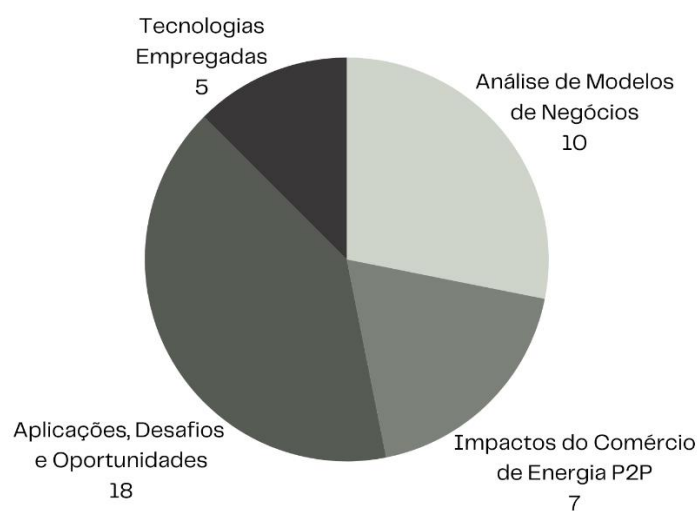


Figura 2 – Quantidade de artigos de acordo com a classificação.

Na Tab. 1 estão detalhados os artigos selecionados, incluindo referências, áreas de estudo e uma pequena descrição dos objetivos e metodologias utilizadas, sendo ordenados de acordo com a classificação por nós estabelecida. A Fig. 3 (a) apresenta a quantidade de artigos de acordo com o país de origem. Já a Fig. 3 (b) apresenta a quantidade de

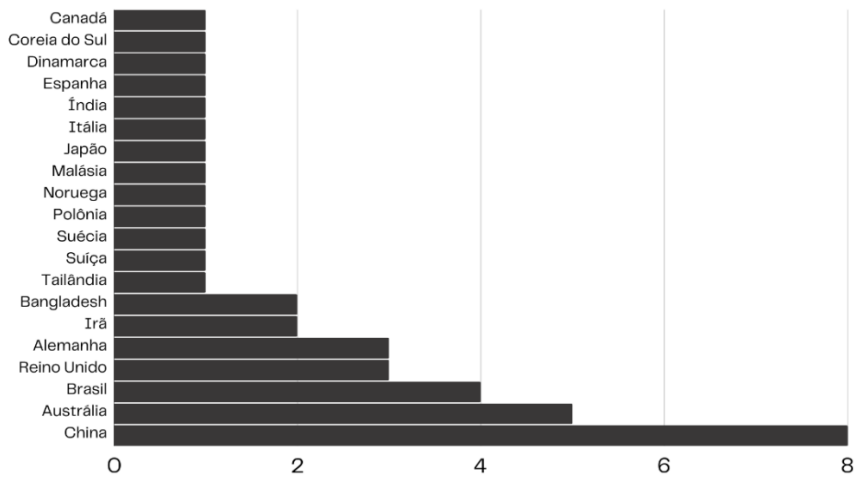
artigos de acordo com o ano de publicação. A seleção de artigos abrange apenas aqueles publicados até de outubro de 2023.

Tabela 1 - Artigos selecionados para revisão bibliométrica.

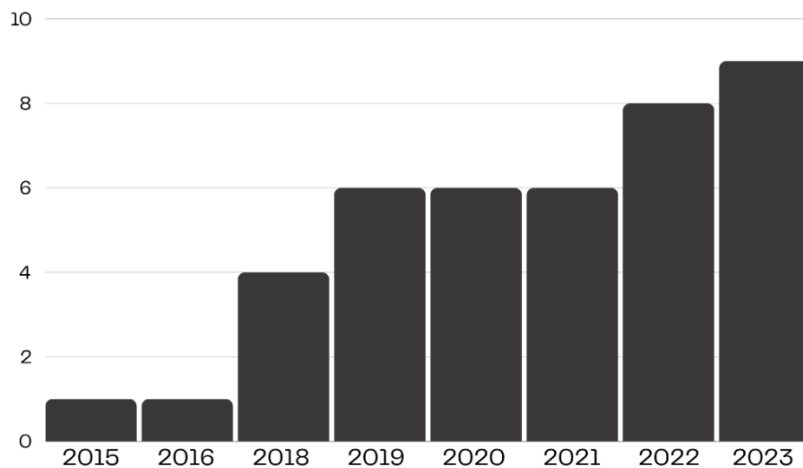
AUTORES	ANO	PAÍS	OBJETIVO E MÉTODO	CATEGORIA
Espe <i>et al.</i>	2018	Austrália	Examina a literatura sobre rede inteligente baseada na comunidade prossumidora, revisando a literatura relevante publicada de 2009 a 2018 em revistas de energia e tecnologia de renome.	1
Zhang <i>et al.</i>	2018	Reino Unido	Identifica e categoriza os principais elementos e tecnologias envolvidos no comércio de energia P2P, simulando uma plataforma de negociação de energia usando a teoria dos jogos.	1
Brown <i>et al.</i>	2019	Reino Unido	Identifica e avalia como os modelos de negócios prossumidores podem existir além do subsídio direto, apresentando 7 arquétipos de modelos de negócios atualmente em operação.	1
Sousa <i>et al.</i>	2019	Dinamarca	Apresenta uma visão geral dos novos mercados P2P, com a motivação, os desafios, os designs de mercado, possíveis desenvolvimentos futuros neste campo, e fornece um caso teste.	1
Barbosa <i>et al.</i>	2020	Brasil	Apresenta uma análise detalhada e comparativa dos modelos de mercado de energia P2P e CM (mercados comunitários) por meio de um caso de teste com dados reais brasileiros e o comportamento de consumidores e prossumidores em ambos os modelos.	1
Heo <i>et al.</i>	2021	Coreia do Sul	Propõe um novo modelo de comercialização de energia P2P, apresentando um esquema de negociação orientado ao operador a fim de diminuir as barreiras e permitir a entrada no comércio P2P.	1
Kühnbach <i>et al.</i>	2021	Alemanha	Apresenta uma estrutura de modelagem para otimização de prossumidores e aplica um estudo de caso, a fim de comparar o mercado prossumidor local com o modelo de autoconsumo e da integração dos prossumidores num mercado central.	1
Bukar <i>et al.</i>	2023	Malásia	Apresenta 6 componentes críticos sobre o comércio de eletricidade P2P e evidencia tecnologias de ponta, descobertas notáveis e orientações de melhores práticas para cada um.	1
Jonek-Kowalska	2023	Polônia	Identifica o nível de conhecimento e o envolvimento em potencial, bem como os incentivos e desincentivos para o desenvolvimento do mercado P2P sob a perspectiva dos prossumidores.	1
Zhou e Lund	2023	China	Apresenta uma revisão sobre compartilhamento e comércio de energia P2P, a fim de determinar desafios, perspectivas e recomendações.	1
Hackbarth e Løbbe	2020	Alemanha	Identifica as motivações dos indivíduos para participarem no comércio de eletricidade P2P através de uma pesquisa, considerando a avaliação do comércio, a atitude ambiental, o comportamento de compra e o interesse técnico.	2
Hahnel <i>et al.</i>	2020	Suíça	Examina as decisões comerciais dos proprietários em uma rede de energia P2P simulada, destacando as preferências gerais e as estratégias de comércio aplicadas.	2
Hashemipour <i>et al.</i>	2021	Noruega	Analisa o impacto de grupos dinâmicos de P2P e o papel dos VE na criação de mercados locais de eletricidade virtuais.	2
Huang <i>et al.</i>	2022	Suécia	Analisa os impactos das mudanças climáticas no desempenho do comércio de energia P2P sob diferentes estratégias de preços e propriedades FV, por meio de um estudo de caso.	2
Wang <i>et al.</i>	2023	China	Apresenta um modelo de negociação P2P que melhora os benefícios econômicos e ambientais, em que a energia verde é usada como um indicador de combinação no mercado de eletricidade.	2
Xia <i>et al.</i>	2023a	China	Apresenta uma revisão sobre o desenvolvimento do comércio de energia P2P, incluindo a estrutura de mercado, as plataformas de comércio e as ciências sociais, além de discutir a política relevante com base na revisão da literatura, projetos-piloto e prática industrial.	2
Xia <i>et al.</i>	2023b	China	Avalia o efeito ambiental do comércio de energia entre pares com dados reais, analisando os impactos do comércio de energia P2P na quantidade de emissões de carbono na China.	2
Xavier <i>et al.</i>	2015	Brasil	Propõe um modelo de micro-rede em que os consumidores	3

			residenciais estão conectados entre si para maximizar o retorno do investimento, comercializando o excedente de energia gerada.	
Alvaro-Hermana <i>et al.</i>	2016	Espanha	Apresenta um sistema de comércio de energia P2P entre dois conjuntos de VE, a fim de reduzir o impacto do processo de carregamento no sistema de energia durante o horário comercial.	3
Nguyen <i>et al.</i>	2018	Austrália	Propõe um modelo de otimização para maximizar os benefícios econômicos para GD com baterias FV em telhados em um ambiente de comércio de energia P2P.	3
Khan	2019	Bangladesh	Revela os impulsionadores, facilitadores e barreiras do prossumerismo de um ponto de vista socioeconômico no país, mostrando sua evolução em um país menos desenvolvido.	3
Kirchhoff <i>et al.</i>	2019	Bangladesh	Identificar os fatores que incentivam a participação em micro-redes P2P, explorando motivações de usuários, medidas de estímulo e critérios para sustentabilidade, por meio de um estudo de caso.	3
Morstyn e McCulloch	2019	Reino Unido	Propõe uma plataforma de mercado de energia P2P para coordenar o comércio entre prossumidores com preferências heterogêneas, introduzindo um novo conceito de gerenciamento de energia multiclasse, chamado classes energéticas.	3
Amin <i>et al.</i>	2020	China	Apresenta um modelo de determinação de preços ótimos baseado na preferência dos consumidores para o comércio de energia no mercado de energia P2P, juntamente com a política de alocação de energia.	3
Kobashi <i>et al.</i>	2020	Japão	Apresenta uma análise técnico-econômica de um sistema de energia em escala urbana com energia FV, baterias e VE.	3
Wilkinson <i>et al.</i>	2020	Austrália	Analisa as motivações e os papéis dos usuários no desenvolvimento de mercados de eletricidade P2P.	3
Castellini <i>et al.</i>	2021	Itália	Fornece um quadro teórico de opções reais com o objetivo de modelar a decisão dos prossumidores de investir em centrais FV, assumindo que estas estão integradas numa rede inteligente.	3
Antoniolli <i>et al.</i>	2022	Brasil	Apresenta um método para avaliar, na perspectiva da concessionária de distribuição e do prossumidor, os impactos técnico-econômicos da adoção da conversão FV, por meio de um estudo de caso.	3
Botelho <i>et al.</i>	2022	Brasil	Propõe um algoritmo iterativo e sequencial para resolver o problema de mercado P2P de energia e reserva, considerando a operação da rede de distribuição e permitindo a integração entre pares e o operador do sistema, avaliado por um estudo de caso.	3
Gunarathna <i>et al.</i>	2022	Austrália	Apresenta uma revisão sistemática e abrangente da literatura dos modelos de negócios P2P em todo o mundo, analisando os pontos fortes, as limitações e os desafios desse comércio	3
Mensin <i>et al.</i>	2022	Tailândia	Apresenta um modelo de comércio de energia P2P otimizado com base na técnica de priorização, usando o objetivo do prossumidor de maximizar o autoconsumo.	3
Talari <i>et al.</i>	2022	Alemanha	Apresenta um mecanismo de mercado P2P totalmente descentralizado considerando as preferências dos prossumidores, incluindo tecnologia de conversão, localização na rede e reputação do proprietário.	3
Khodoomi e Sahebi	2023	Irã	Projeta um sistema de comércio de energia P2P sob a incerteza da conversão de energia renovável e das demandas dos pares. Modela uma negociação de Nash para calcular os preços da energia negociados entre pares.	3
Sahebi <i>et al.</i>	2023	Irã	Projeta um sistema de comércio de energia P2P, no qual cada casa tem diferentes tipos de tecnologias descentralizadas, bem como armazenamento de bateria, e pode negociar eletricidade diretamente com os pares ou com a rede elétrica sem intermediários.	3
Zhau <i>et al.</i>	2023	China	Propõe um sistema de gestão de energia aplicando um método que integra a gestão do lado da procura (DSM) no compartilhamento de energia P2P, avaliando a justiça da distribuição de receitas e a estabilidade da rede.	3
Gao <i>et al.</i>	2018	China	Apresenta a aplicação da tecnologia blockchain no comércio de energia P2P, no campo da Internet energética, mostrando a	4

			necessidade de introdução da tecnologia blockchain e as limitações da aplicação atual.	
Baig <i>et al.</i>	2021	Canadá	Propõe um sistema de comércio de energia descentralizado P2P de código aberto, projetado na arquitetura blockchain e internet das coisas (IoT).	4
Wongthongtham <i>et al.</i>	2021	Austrália	Analisa adoção da tecnologia blockchain para o comércio de eletricidade P2P, como foco no trilema de escalabilidade, segurança e descentralização.	4
Umar <i>et al.</i>	2022	Índia	Apresenta uma solução para um sistema de gerenciamento de energia seguro que utiliza tecnologia blockchain para criar um modelo de micro-rede descentralizada que retrata transações de energia P2P.	4
Xiong <i>et al.</i>	2022	China	Projeta um mecanismo de transação de energia P2P baseado em blockchain para atender aos requisitos econômicos e de segurança do prosumidor FV.	4



(a)



(b)

Figura 3 - Quantidade de artigos: (a) por origem de publicação e (b) por ano de publicação.

3.2 Perspectivas e tendências do comércio de energia P2P

Foram identificadas as áreas de enfoque dos artigos selecionados, incluindo os benefícios associados à implementação do modelo P2P, as oportunidades, as barreiras, os desafios para a aplicação desse modelo, assim como os estudos de casos e as perspectivas de pesquisas futuras. A partir dos resultados, observou-se que 90% dos artigos abordam benefícios e/ou oportunidades associados ao modelo de negócio de energia P2P, reforçando o consenso entre os autores sobre as vantagens desse modelo. Em 55% dos trabalhos são apresentados barreiras e desafios, indicando que existem obstáculos que precisam ser superados para maximizar seus benefícios. Adicionalmente, estudos de casos e simulações aparecem em 60% dos artigos revisados, oferecendo perspectivas práticas e aplicadas acerca da dinâmica do

comércio de energia P2P. Por fim, 45% dos textos sinalizam futuras direções de pesquisa, apontando caminhos promissores para a expansão e aprofundamento o conhecimento nesta área.

Os artigos revisados foram agrupados em diferentes categorias. A primeira categoria abrange artigos que analisam os modelos de negócios P2P. O modelo de negócio P2P emergiu recentemente como uma abordagem viável para gerir melhor a oferta e a procura de eletricidade em redes ricas em recursos renováveis (Bukar et al., 2023). Enquanto o fluxo tradicional de eletricidade é unidirecional, com eletricidade fluindo de grandes conversores centralizados para os consumidores, o comércio de energia P2P incentiva o fluxo multidirecional dentro de uma área geográfica local por meio de pequenos conversores (Zhang et al., 2018). Esses mercados P2P baseiam-se numa perspectiva centrada no consumidor, dando-lhes a oportunidade de escolherem livremente a forma como comercializam seus excedentes (Sousa et al., 2019).

Quanto aos impactos do comércio, os temas mais abordados se relacionam a aspectos socioeconômicos, modelos de tarifação e regulamentações orientadas a superar desafios e fomentar oportunidades associadas ao comércio. De acordo com Hahnel et al. (2020), a negociação P2P baseia-se em preços dinâmicos que refletem a procura e a oferta de eletricidade num determinado mercado e momento. Kirchhoff e Strunz (2019) declaram que o valor econômico da participação em micro-redes pode ser abordado diretamente por meio do modelo de tarifação. Uma tarifa baixa, como as chamadas tarifas sociais incentiva o consumo, enquanto uma alta tarifa feed-in incentiva a produção, estimulando a economia de uso. O estudo de caso de Khodoomi e Sahebi (2023) visa maximizar os lucros de todos os pares, oferecendo um modelo de precificação para estimar o preço da energia comercializada utilizando a estratégia de negociação de Nash. Hashemipour et al. (2022) afirmam que permitir a comercialização de energia P2P para os participantes de um Mercado Local Virtual (LEM) reduz os custos de eletricidade e a dependência da rede. Além dos lucros do mercado, as quantidades de emissões de carbono dos usuários finais também são reduzidas com a crescente utilização de recursos de energias renováveis distribuída (Xia et al., 2023b). Segundo Kühnbach et al (2022), do ponto de vista da regulamentação o envolvimento dos prossumidores em mercados centralizados também deve ser facilitado. Além disso, esse mercado é acessado principalmente nos países desenvolvidos, uma vez que a maioria das políticas energéticas desses países são mais liberais do que as dos países em desenvolvimento, ou seja, as estruturas de mercado nos países desenvolvidos têm maior probabilidade de serem descentralizadas (Xia et al., 2023a). Apesar disso, Khan (2019) mostra que o prossumerismo pode melhorar a qualidade de vida e aumentar a conscientização socioeconômica em países menos desenvolvidos.

Zhou e Lund (2023) apontam como principais benefícios do compartilhamento de energia P2P o aumento da eficiência do sistema, a redução na capacidade necessária de armazenamento e no consumo de energia primária, a alta penetração de renováveis, diminuição das perdas energéticas em processos de armazenamento e transmissão, bem como a melhoria da qualidade da energia. Além disso, o modelo de mercado P2P promove a descarbonização, impulsiona a adoção de tecnologias renováveis e de armazenamento, aprimora a eficiência do sistema e a confiabilidade das negociações enquanto contribui para a redução de perdas e para o gerenciamento de congestionamento na rede local. Talari et al. (2022) evidenciam o modelo P2P para a promoção de comunidades energéticas, a fim de orientar o setor energético em direção ao prossumerismo, o que não só permite aos prossumidores promover democracia energética, mas também fortalecer uma cultura de sustentabilidade ao contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Morstyn e McCulloch (2019) introduzem o conceito de "classes energéticas", que facilita a correspondência entre oferta e demanda ao considerar diferentes tipos de energia, preços e outros fatores, sendo fundamental para a eficiência das transações. Contudo, Gunarathna et al. (2022) identificam alguns desafios significativos que limitam a implementação bem-sucedida do comércio P2P no mundo real, incluindo a falta de regulamentações sobre as transações entre pares, a falta de conscientização pública, a complexidade da tecnologia e a falta de motivação governamental. Zhao et al. (2023) apontam que assegurar uma distribuição justa das receitas da partilha P2P e a estabilidade da rede pública é um desafio, enquanto Xia et al. (2023a) enfatizam desafios tanto no nível teórico, relacionados ao cálculo dos resultados comerciais em transações com múltiplos participantes, quanto no nível de aplicação, focando na tecnologia blockchain e na viabilidade do comércio P2P. A aplicação da energia P2P para o armazenamento de energia em baterias e no carregamento de VE é bastante discutida pelos autores. Por meio de um estudo de caso, Kühnbach et al. (2022) demonstram que a energia armazenada em âmbito doméstico pode ser usada para ser comercializada, e que adaptando os horários de carregamento para minimizar custos, VE podem contribuir para o controle de demanda: o chamado carregamento inteligente. O modelo de otimização proposto por Nguyen et al. (2018) foca na maximização dos benefícios econômicos do uso de baterias acopladas na GD em telhados, evidenciando que residências com sistemas FV e armazenamento de baterias podem atingir economias significativas. Álvaro-Hermana et al. (2016) exploraram o comércio de energia P2P em sistemas de VE, visando otimizar custos e promover transações bilaterais, conseguindo reduzir os custos de energia, além de diminuir a dependência do mercado centralizado.

A última categoria se relaciona as tecnologias aplicadas no comércio P2P. Wongthongtham et al. (2021) destacam o significativo potencial da tecnologia blockchain em facilitar esse comércio, ressaltando-a como uma inovação promissora no cenário de comércio e distribuição de energia. Baig et al (2021) afirmam que a tecnologia blockchain e a Internet das Coisas podem aumentar a eficiência das plataformas do comércio P2P, uma vez que os pares podem realizar transações por conta própria, ao invés de confiar em uma autoridade centralizada. De acordo com Umar et al. (2022), a integração do blockchain com a micro-rede proporciona um melhor nível de flexibilidade no equilíbrio entre demanda e oferta de forma automatizada e segura. No mesmo sentido, Zhou e Lund (2023) analisaram que a tecnologia blockchain aumenta a automação no comércio P2P, reduz a necessidade de interações humanas, aprimora a segurança através de sistemas transparentes e invioláveis, e agiliza as liquidações em tempo real com contratos inteligentes.

Em relação as perspectivas de pesquisas do modelo P2P, os autores destacam a necessidade de avaliar mais profundamente as preferências dos clientes, os comportamentos dos participantes e a integração tecnológica (Hahnel et al., 2020; Kühnbach et al., 2021). Khan (2019) argumenta sobre a necessidade de mais investigação e de política, regulamentação e planejamento energético a fim de evitar conflitos de interesses. Zhou e Lund (2023) destacam a necessidade de considerar os custos de degradação dos dispositivos, equipamentos e perdas de transmissão. Bukar et al. (2023) sublinham a importância de investimentos em Tecnologias da Informação e Comunicação para maximizar o potencial do comércio de energia P2P.

Para o caso do Brasil, os obstáculos para o crescimento desse mercado incluem altos preços de investimentos, legislação insuficiente e falta de incentivos governamentais. Para contornar essas barreiras, Xavier et al. (2015) propõem e simulam um modelo de micro-rede em uma cidade brasileira, no qual os consumidores residenciais interconectados comercializam o excedente de energia entre si para otimizar o retorno do investimento. O modelo demonstra que essa estratégia pode potencializar a viabilidade econômica de sistemas FV. Antoniolli et al. (2022) afirmam que unidades prossumidoras FV desempenham papel crucial na redução dos custos de eletricidade e na oferta de energia descentralizada e sustentável. Botelho et al. (2022) afirmam que as principais barreiras para os prossumidores no comércio de energia brasileiro são de natureza regulatória e tecnológica, uma vez que seria necessária uma reestruturação do setor elétrico nacional, bem como destacam o desafio de estabelecer uma integração harmoniosa entre os prossumidores e as empresas responsáveis pela administração da rede elétrica no país.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No presente artigo foi proposta uma revisão bibliométrica de 40 artigos científicos e foram apresentadas as tendências da aplicação do modelo P2P como plataforma de transação de eletricidade convertida a partir de microssistemas FV. Uma avaliação detalhada dos artigos revelou conceitos-chave, metodologias, resultados e tendências. Essas descobertas contribuem com perspectivas valiosas, fomentam discussões enriquecedoras, ampliam a compreensão e impulsionam o avanço no campo de estudo. Examinamos as discussões centrais presentes nos artigos selecionados com a intenção de identificar benefícios do modelo P2P, fatores motivacionais para adoção, desafios, barreiras, aplicações em estudos de caso, bem como potenciais trajetórias de evolução para esse modelo de negócio. Após uma análise minuciosa dos artigos, foi possível categorizá-los com base em seus focos de estudo, a saber: Dez artigos (25%) se concentraram na análise de modelos de negócios, enquanto sete (17,5%) exploraram os impactos do comércio de energia P2P. Cinco artigos (12,5%) dedicaram-se às tecnologias empregadas no modelo de negócio P2P, enquanto a categoria mais prevalente, com dezoito artigos (45%), abordou as aplicações, desafios e oportunidades deste mercado emergente. Nossa análise revelou também que a expressiva maioria dos artigos abordam áreas geográficas diferentes do Brasil (90%).

Grosso modo, os autores recomendam pesquisas interdisciplinares que envolvam questões técnicas, socioeconômicas, comportamentais e de políticas orientadas para aceleração do desenvolvimento de medidas regulatórias voltadas para a expansão desse tipo de modelo de negócio, facilitando assim sua integração aos mercados varejistas de energia. Mais especificamente para o Brasil, são recomendadas pesquisas aprofundadas a fim de entender em profundidade e comparar arquétipos de modelos de negócios prossumeristas, considerando a produção e o consumo de energia dos adotantes de telhados FV, bem como sua propensão para integrar o comércio de energia P2P. Espera-se que tais pesquisas fomentem inovações sociotécnicas no setor elétrico, proporcionando aos consumidores maior autonomia, capacidade de comércio e opções para gerenciar de forma inovadora suas relações com a energia. Por fim, conclui-se que o Brasil possui uma oportunidade valiosa para absorver e aplicar as lições aprendidas a partir de outros países no sentido de facilitar e otimizar a integração do modelo P2P no setor elétrico. Diante de tal contexto, o comércio de energia P2P emerge não apenas como uma inovação sociotécnica, mas como um pilar para um futuro energético mais justo, democrático e sustentável.

Agradecimentos

Claudio Albuquerque Frate, agradece a FUNCAP pelo apoio da bolsa de pós doutorado PD2-0175- 00351.03.01/20, Edital 03/2020. Ana Teresa Caldas Araripe, agradece ao CNPq pela bolsa de iniciação científica. Paulo Cesar Marques de Carvalho agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Alvaro-Hermana, R., Fraile-Ardanuy, J., Zufiria, P.J., Knapen, L., Janssens, D., 2016. Peer to Peer Energy Trading with Electric Vehicles. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, vol. 8, no. 3, pp. 33-44.
- Amin, W., Huang, Q., Afzal, M., Khan, A.A., Zhang, Z., Umer, K., Ahmed, S.A., 2020. Consumers' preference based optimal price determination model for P2P energy trading. Electric Power Systems Research, Volume 187, 2020, 106488, ISSN 0378-7796.
- Antoniolli, A. F., Napolini, H. F., de Abreu, J. F., & Rüther, R., 2022. The role and benefits of residential rooftop photovoltaic prosumers in Brazil. Renewable Energy, 187, 204-222.
- Baig, M.J.A., Iqbal, M.T., Jamil, M., Khan, J., 2021. Design and implementation of an open-source IoT and blockchain-based peer-to-peer energy trading platform using ESP32-S2, Node-Red and, MQTT protocol. Energy Reports, Volume 7, 2021, Pages 5733-5746, ISSN 2352-4847.
- Barbosa, P. H. P., Dias, B., & Soares, T., 2020. Analysis of consumer-centric market models in the Brazilian context. IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exhibition - Latin America (T&D LA), Montevideo, Uruguay, 2020, pp. 1-6.

- Botelho, D.F., de Oliveira, L.W., Dias, B.H., Soares, T.A., Moraes, C.A., 2022. Prosumer integration into the Brazilian energy sector: an overview of innovative business models and regulatory challenges. *Energy Policy*, Volume 161, 2022, 112735, ISSN 0301-4215.
- Brown, D., Hall, S., & Davis, M. E., 2019. Prosumers in the post-subsidy era: An exploration of new prosumer business models in the UK. *Energy Policy*, 135, 110984.
- Bukar, A.L., Hamza, M.F., Ayub, S., Abobaker, A.K., Modu, B., Brent, S.M.A.C., Ogbonnaya, C., Mustapha, K., Idakwo, H.O., 2023. Peer-to-peer electricity trading: A systematic review on current developments and perspectives. *Renewable Energy Focus*, Volume 44, 2023, Pages 317-333, ISSN 1755-0084.
- Castellini, M., Menoncin, F., Moretto, M., Vergalli, S., 2021. Photovoltaic Smart Grids in the prosumers investment decisions: a real option model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, Volume 126, 2021, 103988, ISSN 0165-1889.
- Espe, E., Potdar, V., & Chang, E., 2018. Prosumer Communities and Relationships in Smart Grids: A Literature Review, Evolution and Future Directions. *Energies*, 11, 2528.
- Gao, C., Ji, Y., Wang, J., Sai, X., 2018. Application of Blockchain Technology in Peer-to-Peer Transaction of Photovoltaic Power Generation. 2nd IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC), Xi'an, China, 2018, pp. 2289-2293.
- Grzanic, M., Capuder, T., Zhang, N., Huang, W., 2022. Prosumers as active market participants: A systematic review of evolution of opportunities, models and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 154, 2022, 111859, ISSN 1364-0321.
- Gunarathna, C.L., Yang, R.J., Jayasuriya, S., Wang, K., 2022. Reviewing global peer-to-peer distributed renewable energy trading projects. *Energy Research & Social Science*, Volume 89, 2022, 102655, ISSN 2214-6296.
- Hackbarth, A., & Lötbe, S., 2020. Attitudes, preferences, and intentions of German households concerning participation in peer-to-peer electricity trading. *Energy Policy*, 138, 111238.
- Hahnel, U. J., Herberz, M., Pena-Bello, A., Parra, D., & Brisch, T., 2020. Becoming prosumer: Revealing trading preferences and decision-making strategies in peer-to-peer energy communities. *Energy Policy*, Volume 137, 2020, 111098. ISSN 0301-4215.
- Hashemipour, N., Granado, P.C., Aghaei, J., 2021. Dynamic allocation of peer-to-peer clusters in virtual local electricity markets: A marketplace for EV flexibility. *Energy*, Volume 236, 2021, 121428, ISSN 0360-5442.
- Heo, K., Kong, J., Oh, S., & Jung, J., 2021. Development of operator-oriented peer-to-peer energy trading model for integration into the existing distribution system. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 125, 2021, 106488, ISSN 0142-0615.
- Herbes, C., Brummer, V., Rognli, J., Blazejewski, S., Gericke, N., 2017. Responding to policy change: new business models for renewable energy cooperatives – barriers perceived by cooperatives' members. *Energy Policy*, Volume 109, 2017, Pages 82-95, ISSN 0301-4215.
- Horstink, L., Wittmayer, J. M., Ng, K., 2021. Pluralising the European energy landscape: Collective renewable energy prosumers and the EU's clean energy vision. *Energy Policy*, Volume 153, 2021, 112262, ISSN 0301-4215.
- Huang, P., Lovati, M., Shen, J., Chai, J., Zhang, X., 2022. Investigation of the Peer-to-Peer energy trading performances in a local community under the future climate change scenario in Sweden. *Energy Reports*, Volume 8, 2022, Pages 989-1001, ISSN 2352-4847.
- IRENA – International Renewable Energy Agency., 2020. Peer-to-peer electricity trading - Innovation Landscape Brief. Disponível em <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Peer-to-peer_electricity_trading_2020.pdf>.
- Jonek-Kowalska, I., 2023. P2P transactions as a market innovation from a prosumer perspective: Level of potential involvement and behavioral incentives and disincentives of development. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, Volume 9, Issue 3, 2023, 100140, ISSN 2199-8531.
- Khan, I., 2019. Drivers, enablers, and barriers to prosumerism in Bangladesh: A sustainable solution to energy poverty? *Energy Research & Social Science*, Volume 55, 2019, Pages 82-92, ISSN 2214-6296.
- Khodoomi, M., Sahebi, H., 2023. Robust optimization and pricing of Peer-to-Peer energy trading considering battery storage. *Computers & Industrial Engineering*, Volume 179, 2023, 109210, ISSN 0360-8352.
- Kirchhoff, H., Strunz, K., 2019. Key drivers for successful development of peer-to-peer microgrids for swarm electrification. *Applied Energy*, 244, 46–62.
- Kobashi, T., Yoshida, T., Yamagata, Y., Naito, K., Pfenninger, S., Say, K., Takeda, Y., Ahl, A., Yarime, M., Hara, K., 2020. On the potential of “Photovoltaics + Electric vehicles” for deep decarbonization of Kyoto's power systems: Techno-economic-social considerations. *Applied Energy*, Volume 275, 2020, 115419, ISSN 0306-2619.
- Kühnbach, M., Bekk, A., & Weidlich, A., 2021. Towards improved prosumer participation: Electricity trading in local markets. *Energy*, Volume 239, Part E, 2022, 122445, ISSN 0360-5442.
- Mensin, Y., Ketjoy, N., Chamsa-ard, W., Kaewpanha, M., Mensin, P., 2022. The P2P energy trading using maximized self-consumption priorities strategies for sustainable microgrid community. *Energy Reports*, Volume 8, 2022, Pages 14289-14303, ISSN 2352-4847.
- Morstyn, T. e McCulloch, M.D., 2019. Multiclass Energy Management for Peer-to-Peer Energy Trading Driven by Prosumer Preferences. *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 34, no. 5, pp. 4005-4014.
- Nguyen, S., Peng, W., Sokolowski, P., Alahakoon, D., Yu, X., 2018. Optimizing rooftop photovoltaic distributed generation with battery storage for peer-to-peer energy trading. *Applied Energy*, Volume 228, 2018, Pages 2567-2580, ISSN 0306-2619.
- Parag, Y., Sovacool, B.K., 2016. Electricity market design for the prosumer era. *Nature Energy* 1, 16032.
- Rathnaayaka, A., Potdar, V., Dillon, T., Hussain, O., Kuruppu, S., 2014. Goal-oriented prosumer community groups for the smart grid. *IEEE Technol Soc Mag* 2014; 33(1):41–8.
- Sahebi, H., Khodoomi, M., Seif, M., Pishvae, M., Hanne, T., 2023. The benefits of peer-to-peer renewable energy trading and battery storage backup for local grid. *Journal of Energy Storage*, Volume 63, 2023, 106970, ISSN 2352-152X.
- Sousa, T., Soares, T., Pinson, P., Moret, F., Baroche, T., & Sorin, E., 2019. Peer-to-peer and community-based markets: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104, 367–378.
- Talari, S., Khorasany, M., Razzaghi, R., Ketter, W., Gazafroudi, A.S., 2022. Mechanism design for decentralized peer-to-peer energy trading considering heterogeneous preferences. *Sustainable Cities and Society*, Volume 87, 2022, 104182, ISSN 2210-6707.

- Umar, A., Kumar, D., Ghose, T., 2022. Blockchain-based decentralized energy intra-trading with battery storage flexibility in a community microgrid system. *Applied Energy*, Volume 322, 2022, 119544, ISSN 0306-2619.
- Wang, L., Zhang, Y., Li, Z., Huang, Q., Xiao, Y., Yi, X., Ma, Y., Li, M., 2023. P2P trading mode for real-time coupled electricity and carbon markets based on a new indicator green energy. *Energy*, Volume 285, 2023, 129179, ISSN 0360-5442.
- Wilkinson, S., Hojckova, K., Eon, C., Morrison, G.M., Sandén, B., 2020. Is peer-to-peer electricity trading empowering users? Evidence on motivations and roles in a prosumer business model trial in Australia. *Energy Research & Social Science*, Volume 66, 2020, 101500, ISSN 2214-6296.
- Wongthongtham, P., Marrable, D., Abu-Salih, B., Liu, X., Morrison, G., 2021. Blockchain-enabled peer-to-peer energy trading. *Computers & Electrical Engineering*, Volume 94, 2021, 107299, ISSN 0045-7906.
- Xavier, G. A., Filho, D. O., Martins, J. H., Monteiro, P. M. d. B., & Diniz, A. S. A. C., 2015. Simulation of Distributed Generation with Photovoltaic Microgrids—Case Study in Brazil. *Energies*, 8, 4003-4023.
- Xia, Y., Xu, Q., Li, S., Tang, R., Du, P., 2023a. Reviewing the peer-to-peer transactive energy market: Trading environment, optimization methodology, and relevant resources. *Journal of Cleaner Production*, Volume 383, 2023, 135441, ISSN 0959-6526.
- Xia, Y., Xu, Q., Fang, J., Du, P., 2023b. Emission reduction estimation by coupling peer-to-peer energy sharing with carbon emission markets considering temporal and spatial factors. *Journal of Cleaner Production*, Volume 421, 2023, 138452, ISSN 0959-6526.
- Xiong, X., Qing, G., Li, H., 2022. Blockchain-based P2P power trading mechanism for PV prosumer. *Energy Reports*, Volume 8, Supplement 5, 2022, Pages 300-310, ISSN 2352-4847.
- Zhang, C., Wu, J., Zhou, Y., Cheng, M., Long, C., 2018. Peer-to-Peer energy trading in a Microgrid. *Applied Energy*, Volume 220, 2018, Pages 1-12, ISSN 0306-2619.
- Zhao, F., Li, Z., Wang, D., Ma, T., 2023. Peer-to-peer energy sharing with demand-side management for fair revenue distribution and stable grid interaction in the photovoltaic community. *Journal of Cleaner Production*, Volume 383, 2023, 135271, ISSN 0959-6526.
- Zhou, Y., Lund, P.D., 2023. Peer-to-peer energy sharing and trading of renewable energy in smart communities — trading pricing models, decision-making and agent-based collaboration. *Renewable Energy* 207, 177–193.

DISTRIBUTED GENERATION AND NEW BUSINESS MODELS: A BIBLIOMETRIC REVIEW ON THE P2P MODEL

Abstract. *The need to reduce greenhouse gas emissions, together with advances in communication and information technologies, has driven the successful expansion of various types of shared generation communities with prosumer's nature. This has opened up space for the creation of new and promising business models. Among these models, peer-to-peer (P2P) transactions stand out, once it is able to meet local needs for entrepreneurship, employment, income and ancillary services, while contributing to the reduction of carbon emissions required by the global climate crisis. The aim of this article is to carry out a systematic and bibliometric review of trends in the application of the P2P model as a platform for transacting electricity generated from photovoltaic (PV) microsystems. To this end, publications from 2015 onwards were reviewed, totaling 40 scientific articles. Through the review of these articles, their areas of focus were determined, addressing the benefits of implementing the P2P model, its drivers, barriers and challenges, case studies and future directions. Of the articles selected, 25% focus on business model analysis, 17,5% explore the impacts of P2P energy trading, 45% address applications, challenges and opportunities and 12,5% are related to the technologies employed in this type of business model. Specifically for Brazil, the authors recommend research capable of mapping individual archetypal energy production and consumption profiles of PV roof adopters, as well as their willingness to become prosumers. It is hoped that such research will foster socio-technical innovations in the electricity sector, providing consumers with greater autonomy, ability to trade, and options for innovatively managing their relationships with energy.*

Keywords: *Photovoltaics, Prosumerism, Peer-to-peer.*