cgee

Resumo executivo

OICS observatório de inovação para cidades sustentáveis

Políticas e soluções para cidades sustentáveis: energia

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) edita publicações sobre diversas temáticas que impactam a agenda do Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI).

As edições são alinhadas à missão institucional do Centro de subsidiar os processos de tomada de decisão em temas relacionados à ciência, tecnologia e inovação, por meio de estudos em prospecção e avaliação estratégica baseados em ampla articulação com especialistas e instituições do SNCTI.

As publicações trazem resultados de alguns dos principais trabalhos desenvolvidos pelo Centro, dentro de abordagens como produção de alimentos, formação de recursos humanos, sustentabilidade e energia. Todas estão disponíveis gratuitamente para *download*.

A instituição também produz, semestralmente, a revista **Parcerias Estratégicas**, que apresenta contribuições de atores do SNCTI para o fortalecimento da área no País.

Você está recebendo uma dessas publicações, mas pode ter acesso a todo o acervo do Centro pelo nosso site: *http://www.cgee.org.br.*

Boa leitura!

Políticas e soluções para cidades sustentáveis: energia

Resumo executivo

cgee

Brasília – DF
2022

© Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

Organização social supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI)

Diretor-presidente
Marcio de Miranda Santos (até 28/02/2022)
Fernando Cosme Rizzo Assunção (a partir de 01/03/2022)

Diretores
Ary Mergulhão Filho
Luiz Arnaldo Pereira da Cunha Junior
Regina Maria Silverio

Edição: *Aline Adolphs/Contexto Gráfico*
Diagramação: *Contexto Gráfico*
Capa e Infográficos: *Contexto Gráfico*
Projeto Gráfico: *Núcleo de design gráfico do CGEE*

Catalogação na fonte

C389p
Políticas e soluções para cidades sustentáveis: energia. Resumo Executivo. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2022.

48 p.

ISBN 978-65-5775-045-2 (digital)

1. Energia. 2. Sustentabilidade. 3. Política. I. CGEE. II. UFPR. III. Título.

CDU 620.92

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, SCS Qd 9, Bl. C, 4º andar, Ed. Parque Cidade Corporate, 70308-200, Brasília, DF ,Telefone: (61) 3424.9600

@CGEE_oficial | *http://www.cgee.org.br* | *@CGEE*
@CGEE_oficial | *@Centro de Gestão e Estudos Estratégicos*

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos nesta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que seja citada a fonte.

Referência bibliográfica:

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS- CGEE. **Políticas e soluções para cidades sustentáveis:** energia. Brasília, DF: CGEE, 2022. 48 p.

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas pelo Observatório de Inovação para Cidades Sustentáveis no âmbito do Projeto CITinova – Promovendo Cidades Sustentáveis no Brasil através de Planejamento Urbano Integrado e de Investimentos em Tecnologias Inovadoras — Centro de Custo: 800160 – CGEE GEF/PNUMA (8.12.53.01.03.01).

Políticas e soluções para cidades sustentáveis: energia

Resumo executivo

Supervisão

Regina Maria Silverio

Coordenação no CGEE

Marco Aurélio Lobo Júnior (até 28 de fevereiro de 2022)
Patrícia Miranda Menezes (a partir de 01 de março de 2022)

Equipe técnica do CGEE

Raiza Gomes Fraga
Monique Pinheiro Santos
Patrícia Reis Ferreira de Andrade

Equipe técnica do MCTI - Projeto CITINOVA Planejamento Integrado e Tecnologias para Cidades Sustentáveis

Luíz Henrique Mourão (Diretor Nacional)
Ana Lucia Stival (Coordenadora Nacional)
Angélica Griesinger (Coordenadora Técnica)
Régis Rathmann (Coordenador de Plataforma)
Isabela Melo (Assistente de projeto)
Camile Vieira Martins (Consultora)

PNUMA

Denise Hamú (Representante Brasil)
Regina Cavini (Oficial de Programas)
Asher Lessels (Gestor de Portfólio)

CONSULTORES

Aguinaldo dos Santos
Marcella Lomba Nicastro
Alessandra Petrecca

Os textos apresentados nesta publicação são de responsabilidade dos autores.

Sumário

Apresentação 7

Introdução 9

1. Motivações para energia mais sustentável nas cidades 11

2. Método de pesquisa 13

3. Taxonomia de políticas para energia sustentável 15

3.1. Política de ampliação da adoção de fontes renováveis de energia 15

3.2. Política de incentivos econômicos para a energia sustentável 17

3.3. Política de promoção da geração distribuída de energia 18

3.4. Política para eficiência energética 20

3.5. Política de urbanização voltada à redução da demanda de energia 22

3.6. Política de implementação de redes inteligentes (*smart grids*) 23

3.7. Política de estímulos à inovação em serviços associados à energia 24

3.8. Política de planejamento da energia 25

3.9. Política de promoção de comportamentos e competências para a energia sustentável 26

4. Amostra de soluções promissoras 29

4.1. Implementação de um processo sistemático de planejamento energético para a cidade 29

4.2. Estabelecimento de tarifas dinâmicas em função do horário de consumo 30

4.3. Ampliar a oferta de alternativas de financiamento que incentivem a adoção de energia renovável 31

4.4. Estimular a minigeração para o autoconsumo com foco na energia solar 33

4.5. Promover configurações distribuídas para a geração de energia 34

4.6. Digitalização da gestão de *smart grids* distribuídos 35

Referências 37

Siglas e abreviaturas encontradas nesta publicação 47

Apresentação

O Observatório de Inovações para Cidades Sustentáveis (OICS) é uma iniciativa desenvolvida pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) como parte do projeto CITInova, do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), para a promoção de sustentabilidade nas cidades brasileiras por meio de tecnologias inovadoras e planejamento urbano integrado.

O OICS atua para acelerar a inovação nas cidades brasileiras e apoiar a tomada de decisão com base em evidências, oferecendo aos gestores públicos brasileiros um banco de soluções para a sustentabilidade urbana e um sistema de informações geográficas (*sigweb*) que caracteriza o território nacional, por meio de indicadores e tipologias para as cidades brasileiras.

O mapeamento de soluções contempla iniciativas em temas como água, energia, mobilidade, ambiente construído, resíduos sólidos e soluções baseadas na natureza. Na plataforma é possível conhecer características centrais de sua implementação e exemplos práticos de sua aplicação. O banco possui informações diretas e resumidas para auxiliar o tomador de decisão, que, apoiado pelo sistema de informações geográficas, pode levantar dados sobre sua região comparando indicadores para cada um dos temas mapeados.

Sabemos, no entanto, que o banco de soluções e o mapa *sigweb* são apenas parte de um percurso para a transição de nossas cidades para ambientes mais sustentáveis. Por isso, apresentamos essa série de resumos executivos que relacionam **políticas** e o **banco de soluções do OICS**, oferecendo aos tomadores de decisão informação atualizada a partir de uma revisão bibliográfica sistemática sobre cada um dos temas mapeados (água, energia, mobilidade, ambiente construído, resíduos sólidos e soluções baseadas na natureza). Estes resumos sinalizam aos gestores públicos as políticas que podem ser endereçadas por meio da implementação de diferentes soluções urbanas. Trata-se de um material vivo que oferece referências para a atualização de estratégias municipais no âmbito da sustentabilidade.

Os resumos executivos foram elaborados em uma parceria com o Núcleo de Design & Sustentabilidade da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e têm como principal objetivo oferecer aos gestores um material atualizado com a publicação científica na área da sustentabilidade, atentando-se às possibilidades de aplicação em escala local. O material traz extensa referência bibliográfica que poderá servir como insumo para a elaboração de projetos locais e associa as políticas mapeadas às soluções disponíveis no banco do OICS.

Para aproveitar da melhor forma o conteúdo elaborado, navegue pelas soluções indicadas, clicando nos hiperlinks e conhecendo a aplicação prática de iniciativas urbanas em consonância com políticas e estratégias que dialogam com as principais e atuais agendas para a sustentabilidade.

Boa leitura!

Políticas e soluções para cidades sustentáveis: energia

Introdução

Este documento foi desenvolvido em parceria entre o Observatório para Inovação das Cidades Sustentáveis (OICS) e o Núcleo de Design & Sustentabilidade da Universidade Federal do Paraná (UFPR), com o intuito de subsidiar os tomadores de decisão no âmbito das prefeituras municipais quanto ao elenco de políticas e soluções pertinentes ao tema "Energia". O arcabouço apresentado aqui, juntamente com a base de soluções e casos constantes no portal do OICS, constitui em ferramenta valiosa no processo de customização de políticas e soluções mais sustentáveis adequadas às especificidades locais.

Energia sustentável pode ser definida como aquela que é ofertada de forma equitativa a todos, com sustentabilidade ambiental e possibilitando a segurança no abastecimento. Equidade energética trata da acessibilidade e viabilidade econômica do fornecimento de energia para toda a população; sustentabilidade ambiental trata do desenvolvimento de fontes energéticas renováveis ou de fontes de baixo carbono; segurança energética trata da confiabilidade da infraestrutura de energia para atender à demanda presente e futura (WEC, 2021; VILLA-ARRIETA; SUMPER, 2019). Dessa forma, temas para políticas em energia enfatizam questões como a segurança na disponibilidade de diversas fontes de energia; infraestrutura confiável e robusta; preços acessíveis e estáveis; sustentabilidade ambiental da produção e uso da energia (SMITH *et al.*, 2002). Um desafio central é a expansão de fontes de energia acessíveis, confiáveis, ao mesmo tempo que se contempla a mitigação de seus impactos em todos os níveis (YUEHONG *et al.*, 2020).

Consumo de energia é transversal a todas as atividades econômicas e, desta forma, iniciativas para mitigar seus impactos nas mudanças climáticas implicam em transformações do modelo econômico convencional para modelo de baixo carbono. Este processo é chamado de transição energética e é

baseado na ampliação da eficiência energética, eletrificação e intensificação no uso de fontes renováveis de energia (VILLA-ARRIETA; SUMPER, 2019). Seu escopo inclui a reflexão crítica e ação contundente sobre a origem e eficiência energética de todas as cadeias de valor de produtos e serviços que cruzam as cidades. De fato, na contemporaneidade, tem-se uma mudança profunda do paradigma tradicional associado à energia versus o paradigma emergente, conforme sintetiza o quadro a seguir:

Quadro 1 – Paradigma tradicional *x* paradigma emergente

Paradigma tradicional	Paradigma emergente
Energia considerada como uma questão setorial	Energia considerada como uma questão com implicações transversais ambientais, econômicas e sociais
Limitação em combustíveis fósseis	Compreendem-se as limitações na capacidade do planeta e de sua atmosfera
Ênfase em expandir fontes de combustíveis fósseis	Ênfase no desenvolvimento de portfólio ampliado de fontes renováveis e em tecnologias limpas
Custos sociais e ambientais externos da energia são largamente ignorados	Identificação de formas de contemplar as externalidades negativas associadas com o uso da energia
Crescimento econômico é a prioridade central	Compreensão das conexões entre economia e ecologia e da efetividade econômica de contemplar o meio ambiente
Tendência em enfatizar a população local	Reconhecimento da necessidade de considerar todos os impactos ambientais em todas as escalas (do local ao global)
Ênfase em aumentar o suprimento de energia	Ênfase em expandir os serviços de energia, ampliando o acesso e a eficiência
Preocupação conosco e com nossas necessidades presentes	Reconhecimento de nosso futuro comum e do bem estar das futuras gerações

Fonte: Baseado em Irena (2018).

Entre as principais motivações para as decisões municipais acerca de energia destacam-se a busca por equidade social, a estabilidade climática, a qualidade do ar, a governança, a busca por energia acessível e segura e, finalmente, o desenvolvimento econômico e criação de empregos (IRENA, 2021). De fato, cidades configuram-se como um *locus* central para os esforços de transição da sociedade para modos mais sustentáveis de suprimento e uso da energia (ARGYRIOU *et al.*, 2017). Um dos temas centrais para uma transição a regimes mais sustentáveis de energia é o papel de políticas públicas, programas, projetos e ações voltadas a este processo de transição em todos os níveis, do local ao global (LINDBERG *et al.*, 2019; YUEHONG *et al.*, 2020).

De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), não há dúvida sobre o quanto as emissões de natureza antropogênica dos gases de efeito estufa são responsáveis pelas mudanças climáticas. Para alterar esse quadro, em consonância com o Acordo de Paris, há uma urgente necessidade de reduzir as demandas energéticas e as emissões decorrentes de sua geração e uso (MAUREE *et al.*, 2019). Os esforços para se realizar a transição nessa direção estão associados ao escopo dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em particular com o ODS 7, que trata de garantir o acesso à energia confiável, sustentável e moderna para todos; ODS 11, que trata de tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, e ODS 13, que trata de tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos (MAUREE *et al.*, 2019).

1. Motivações para energia mais sustentável nas cidades

De acordo com a Agência Internacional de Energia, estima-se que cidades consumam em torno de 67% da energia global (IEA, 2009; MAUREE *et al.*, 2019). Ao mesmo tempo, cidades são significantes emissoras dos gases de efeito estufa de natureza antropocêntrica (65 a 75%), sendo particularmente vulneráveis aos efeitos de mudanças climáticas e condições climáticas extremas (enchentes, secas) (KAMMEN; SUNTER, 2016; BAGHERI *et al.*, 2018). Note-se que as mudanças climáticas afetam tanto demanda de energia (ampliação do consumo com ar-condicionado) como suprimento de energia (eventos climáticos extremos ameaçando a infraestrutura, geração, transmissão e distribuição) (MAUREE *et al.*, 2019).

A combinação das projeções de crescimento da população e de crescimento econômico a longo prazo devem impingir severo estresse no meio ambiente, em mantendo-se os hábitos de consumo e produção atuais (MAUREE *et al.*, 2019). De fato, a preparação do meio urbano para um acréscimo de 2,5 bilhões de pessoas até 2050 demanda a concepção de cidades que tenham baixo consumo de carbono, resilientes e que possibilitem bem-estar a todos os seus moradores (KAMMEN; SUNTER, 2016). A este desafio integra-se a necessidade de se buscar equidade no acesso, tendo em vista que atualmente cerca de 759 milhões de pessoas ainda não têm acesso à eletricidade no mundo (IRENA, 2020).

O Brasil é atualmente um dos líderes na utilização de energia renovável, tendo uma das economias menos intensivas em carbono no mundo. O País obtém três quartos de sua energia de hidrelétricas e cerca de metade de sua frota de veículos utiliza etanol derivado da cana-de-açúcar ou utiliza combustíveis com misturas de álcool em sua composição. Apesar desse prospecto, o País sofreu *blackouts* prolongados de energia em 2001, devido ao baixo nível do regime de chuvas que resultou na falta de capacidade do sistema elétrico e implantação de estações geradoras de energia a base de gás (HORNER *et al.*, 2016). Em 2021, com a seca atingindo reservatórios do Sul e Sudeste, corre-se novamente o risco de racionamento de energia nos horários de maior demanda. Entre as repercussões dessas crises, está o aumento do volume de usinas termelétricas no País, produzindo energia a partir do calor gerado pela queima de combustíveis fósseis (como carvão mineral, óleo, gás, entre outros).

O contexto atual impõe às cidades a necessidade de implantar políticas que desenvolvam maior resiliência para ameaças tanto de origem natural como antropocêntrica (KAMMEN; SUNTER, 2016). Dentre os benefícios da elaboração e implementação de políticas, programas, projetos e ações voltadas à energia destaca-se a redução dos custos municipais, a melhoria da qualidade do ar e a mitigação da emissão de gases de efeito estufa (ARGYRIOU *et al.*, 2017). Note-se que a questão energética está inserida em todas as esferas de poder, desde a instância municipal, estadual, federal e até o âmbito global. Collaço e Bergmann (2017) apontam que há uma tendência mundial de descentralização do planejamento da energia, apontando a utilização de termos como Planejamento Energético Descentralizado (PED), Planejamento Energético Local/Local Avançado (PEL/PELA), Planejamento Energético Municipal (PEM), Planejamento Energético Urbano (PEU), Gestão/Planejamento Energético

Comunitário (GEC ou PEC), Gestão Energética Municipal (GEM), Governança Energética Comunitária (GoVEC), Governança Energética Urbana (GEU), Uso da Energia Urbana (UEU), entre outros.

O suprimento de energia sustentável nas cidades tem repercussão em todas as dimensões do meio urbano, incluindo as condições de saúde, a competitividade econômica, o apelo cultural e social. Note-se que a própria equidade racial e de gênero é afetada, particularmente em setores com grande consumo de energia como transporte, produção de alimentos e suprimento de água (KAMMEN; SUNTER, 2016). A seguir apresenta-se o método de pesquisa utilizado para investigar o tema, o qual culminou com o presente resumo executivo.

2. Método de pesquisa

Este documento é resultado da aplicação integrada dos métodos Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) e o Método Heurístico. A RBS buscou estabelecer o estado da arte sobre o tema a partir da consulta em artigos revisados por pares, publicados em periódicos internacionais entre 2016 e 2021. A abordagem para realização desta revisão adotou a proposição de três filtros de leitura propostos por Carlos e Capaldo (2009):

A abordagem para realização desta revisão adotou a proposição de três filtros de leitura propostos por Carlos e Capaldo (2009): a) filtro 1: leitura do título, palavras-chave e resumo; b) filtro 2: leitura da introdução e conclusão do artigo, novamente lê-se o título, palavra-chave e resumo; e c) filtro 3: leitura completa do texto.

A busca foi centrada nos periódicos disponíveis na plataforma www.periodicos.capes.gov.br, tendo sido buscadas 10 *strings* com duas ou três palavras-chave. A aplicação dos filtros ocorreu nos 40 artigos mais relevantes obtidos a partir de cada *string*. Nos artigos que passaram pelo filtro 3, buscou-se a revisão de conceitos e princípios e o contexto global das iniciativas no tema, bem como dados e informações de natureza quantitativa que possibilitassem subsidiar os argumentos de tomadores de decisão.

Os exemplos de soluções realizadas no âmbito das cidades, eventualmente encontrados nos artigos, foram catalogados a partir de informações como o título genérico e descrição da solução, localização geográfica e os dados da fonte bibliográfica. A análise dessas soluções seguiu o Método Heurístico, o qual trata da explicitação de conhecimento tácito associado a soluções de problemas realizadas no mundo real (MOUSTAKAS, 1990). A lógica de análise utilizada é predominantemente indutiva, buscando generalizar soluções e respectivas políticas em ciclos continuados de abstração do significado destas evidências através de codificação, conceituação e categorização. Estas codificações foram agrupadas e cada um destes grupos resultou na proposição de temáticas para políticas públicas que estruturam o documento. Este processo segue a lógica da identificação de saturações teóricas, em que há maior densidade de códigos e categorias. O resultado ao final de vários ciclos, segundo Holton (2008), é uma teoria densa alicerçada integralmente nos dados coletados em campo. Portanto, o método alinha-se à lógica da *grounded theory* proposta por Glaser (1965) e Glaser e Strauss (1967), posto que as políticas identificadas derivam do agrupamento de soluções efetivamente presentes em cidades ao redor do mundo, o que implica que sua formulação já tem intrinsecamente a validação externa. As categorias de políticas identificadas foram comparadas com as políticas oficiais, no intuito de detectar eventuais lacunas no contexto nacional.

Com o propósito de buscar a validação externa do conteúdo, incluindo a identificação de eventuais inconsistências técnicas e aperfeiçoamentos epistemológicos, uma versão 1.0 do relatório da pesquisa foi submetida a um painel de especialistas através de um *workshop*. Os especialistas (mínimo seis/máximo oito) foram selecionados a partir da base Lattes, tendo como critério base de seleção: a) doutores atuando na área; b) líderes de grupos de pesquisa; e c) bolsistas produtividade.

Os *workshops* foram organizados em uma etapa assíncrona e uma etapa síncrona. Na etapa assíncrona os participantes realizaram a avaliação do documento, tanto através de comentários feitos diretamente nos relatórios como por meio de um formulário encaminhado juntamente ao mesmo. Todos os participantes assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. O resultado da etapa assíncrona foi utilizado para estabelecer o foco da discussão na etapa síncrona em que se debateu com os(as) mesmos(as) a completude do documento, eventuais inconsistências terminológicas, bem como a validade dos postulados para o contexto brasileiro.

A versão 2.0 do relatório, integrando os resultados do *workshop* com os especialistas, foi então submetida para avaliação da equipe do OICS. A versão 3.0 integra o *feedback* obtido da equipe do OICS. Note-se que o aperfeiçoamento continuado do documento inclui, também, aspectos como estrutura, harmonização da linguagem, padrões visuais para infográficos, buscando reduzir eventuais redundâncias ou salientando, quando for pertinente, conexões com os outros resumos executivos.

3. Taxonomia de políticas para energia sustentável

A Figura 1 a seguir apresenta o elenco das políticas identificadas a partir da revisão bibliográfica sistemática e que é utilizada neste documento para classificar as soluções voltadas para obtenção de energia mais sustentável nas cidades. Nas seções subsequentes, cada uma destas políticas é explicada em detalhe, incluindo a apresentação de respectivas soluções encontradas na literatura e/ou presentes na base OICS.

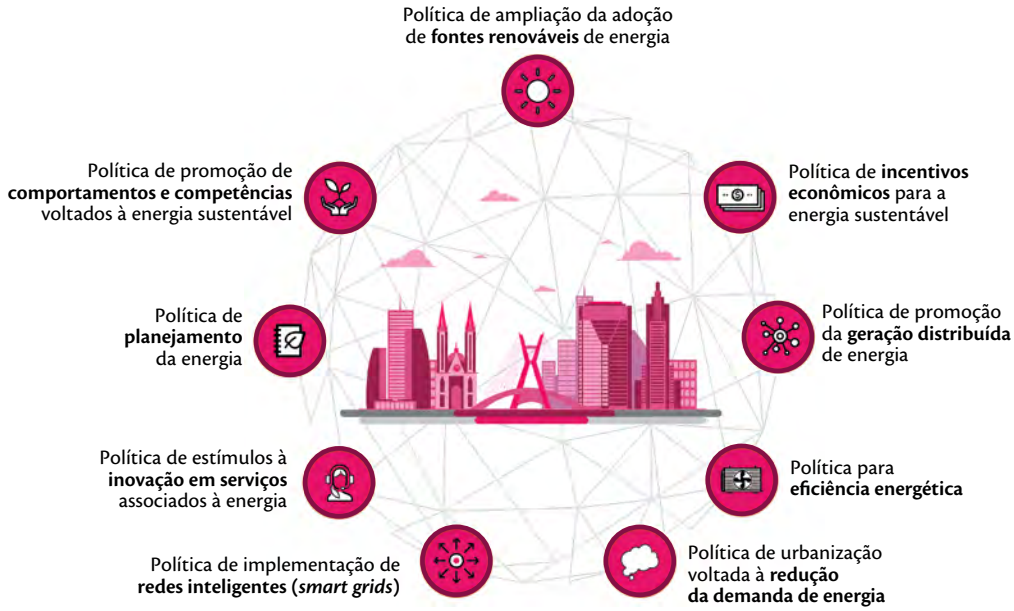

Figura 1 – Visão geral das políticas voltadas à energia mais sustentável nas cidades

Fonte: Elaboração própria.

3.1. Política de ampliação da adoção de fontes renováveis de energia

Esta política trata da concepção e implementação de programas, projetos e ações que promovam a ampliação da adoção de fontes renováveis de energia. Sua proposição ocorre em um contexto em que transições de fontes de energia têm observado a substituição da madeira pelo carvão; substituição do carvão por combustíveis fósseis e, mais recentemente, a transição de combustíveis fósseis por energias renováveis (solar, eólica, biomassa, hidráulica, geotérmica, ondas e marés oceânicas) (LUGARIC; KRAJCAR, 2016; YUEHONG *et al.*, 2020). Apesar da urgência do tema para o contexto do combate às mudanças climáticas de origem antropocêntricas, atualmente apenas cerca de 17,1% do consumo de energia provêm de fontes renováveis (IRENA, 2020).

O desenvolvimento sustentável demanda acesso a energias de fontes limpas, seguras, confiáveis e economicamente viáveis (VERA *et al.*, 2005; JUÁREZ-HERNÁNDEZ; CASTRO-GONZÁLEZ, 2016). Com o rápido avanço tecnológico um dos desafios para a implementação desta política é **reduzir**

o tempo de lançamento de novas tecnologias associadas à energia renovável (JEFFERSON, 2000; JIANG *et al.*, 2020), incluindo a **redução das barreiras regulatórias para a energia renovável** (ADIL; KO, 2016). Além disso, o aumento da competitividade destas novas soluções depende de se **proporcionar um processo ágil e transparente para o licenciamento de iniciativas em energia renovável** (FEU, 2018) e **implementar infraestrutura de suporte** (LINDBERG, *et al.*, 2019).

O histórico de projetos voltados à **minigeração para o autoconsumo com foco na energia solar** *Geração de energia fotovoltaica flutuante* | *Geração de energia solar* | *Telhados solares* (base OICS, 2021) mostra a predominância da tecnologia fotovoltaica, com cerca de 80% da potência instalada acumulada em 2019 (EPE, 2021). Em contraste, a **geração eólica** *Geração de energia eólica (onshore)* | *Geração de energia eólica por oscilação ou vibração* | *Geração de energia Eólica com VAWT* (base OICS, 2021) tem apresentado pouca presença no meio urbano, apesar de seus benefícios ampliados (dispersão da poluição, mitigação de ilhas de calor). Dentre os desafios para sua disseminação estão as preocupações como o espaço de instalação, ventos pouco intensos ou turbulentos no espaço urbano, vibração, barulho, segurança e, também, os incômodos devido ao movimento da sombra produzida pelas pás em rotação (ISHUGAH *et al.*, 2014; KAMMEN; SUNTER, 2016).

A **geração hidráulica de energia** *Geração de energia hidrocinética* | *Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs)* | *Turbina parafuso (Hydroscrew) de microgeração de energia* (base OICS, 2021) dentro do perímetro das cidades, ainda, tem sido relativamente pouco explorada, apesar das amplas oportunidades para este aproveitamento. Os próprios sistemas de água (SU; KARNEY, 2015) e esgoto (CHE MUNAAIM *et al.*, 2018) configuram-se como fontes potenciais para geração de energia hidráulica no âmbito das cidades. Micro-hidrelétricas, turbinas parafuso ou turbinas instaladas nas próprias tubulações de água são exemplos de tecnologias adequadas às limitações espaciais impostas pelo ambiente urbano. De maneira similar, não há, ainda, solução comercialmente viável para a extração de energia das ondas. Conforme Murray e Rastegar (2009), as ondas do mar podem produzir quantidades de energia da ordem de 50kW por metro de onda. O desafio está em extrair a energia de forma eficiente ao mesmo tempo que se demanda resistência a cargas extremas durante tempestades.

No âmbito das cidades, vem sendo disseminada a **utilização da biomassa** *Geração de Bioenergia* | *HomeBiogas* (base OICS 2021), seja diretamente na produção de energia (biomassa tradicional), seja a utilização após processamento e conversão em combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos (biomassa moderna) (JUÁREZ-HERNÁNDEZ; CASTRO-GONZÁLEZ, 2016). Além disso, das tecnologias emergentes para a produção de energia limpa, destacam-se aquelas associadas ao hidrogênio, sendo que se debate a composição de sistemas híbridos para abastecimento de energia dos veículos motorizados, integrando tanto o suprimento de eletricidade de origem limpa, com o **suprimento de hidrogênio limpo** *Geração de Energia das Ondas* | *Geração de energia Térmica Oceânica (OTEC)* (base OICS, 2021) (RED, 2021).

Observam-se, também, soluções voltadas a **estimular o uso de fontes energéticas renováveis** (ICLEI, 2009; IRENA, 2018; AKADIRI *et al.*, 2019; RED, 2021) *Embarcação Elétrica Alimentada por Energia Solar Fotovoltaica* | *Trem Solar* (base OICS, 2021), propiciando condições econômicas, tecnológicas e culturais para sua ampla adoção no meio urbano. Inclusive, há iniciativas **estabelecendo níveis mínimos de utilização de energia oriunda de fontes renováveis** (IRENA, 2018).

O crescimento do número de cidades buscando matrizes renováveis de energia emerge como parte do fenômeno do desvinculamento do crescimento econômico do consumo de combustíveis fósseis (NEWMAN, 2017). A opção por fontes renováveis oferece os benefícios de maior segurança e contribuição para mitigação dos gases de efeitos estufa, além da criação de novas oportunidades de emprego e renda de base local (REN21, 2012; JUÁREZ-HERNÁNDEZ; CASTRO-GONZÁLEZ, 2016). Assim, além de contribuir com os desafios da mudança climática, contribui para acelerar a transição para uma economia verde (BAGHERI *et al.*, 2018).

3.2. Política de incentivos econômicos para a energia sustentável

Esta política trata da concepção e implementação de programas, projetos e ações voltadas a ampliar os incentivos econômicos para estimular a adoção de fontes de energia mais sustentáveis, tanto no âmbito de consumidores como de organizações e do próprio governo. Uma estratégia usual para articular essa política é o **provimento de incentivos fiscais e financeiros para a produção, distribuição e consumo de energia de fontes renováveis** (CHAPMAN *et al.*, 2016; HOLLEY; LECAVALIER, 2017; IRENA, 2018; BAGHERI *et al.*, 2018; AKADIRI *et al.*, 2019; JIANG *et al.*, 2020). Como resultado, pode-se obter **ampliação de atores atuantes na geração de energia renovável** (HOLLEY; LECAVALIER, 2017).

Para alcançar estes resultados é necessário o **estabelecimento de normas e regulamentos municipais que estabeleçam marco jurídico para os incentivos econômicos associados à energia sustentável** (FEU, 2018). Com isto pode-se realizar a **implementação de impostos diferenciados e incentivos para tecnologias de baixo carbono e mais eficientes energeticamente** (JEFFERSON, 2000; BIBRI, 2020) *Mecanismo de incentivo para descarbonização energética* (base OICS, 2021). Exemplo é o patrocínio ou subsídios para a aquisição de veículos elétricos (IRENA, 2018; WEF, 2021). Ao mesmo tempo, é necessário esforços para **ampliar o leque de oferta de alternativas de financiamento que resultem na ampliação da capacidade instalada de geração de energia renovável** (JIANG *et al.*, 2020; FEU, 2018).

As medidas voltadas a promover a adoção da energia sustentável também podem ter um caráter coercitivo, como a gradual redução de subsídios e outros benefícios econômicos para as energias de fonte não renovável (JEFFERSON, 2000) ou, até mesmo, a criação de impostos que penalizam fontes energéticas de alto carbono ("imposto do carbono" (IRENA, 2018). Sob a perspectiva da eficiência da rede de abastecimento de energia inclui também **o estabelecimento de tarifas dinâmicas em função do horário de consumo** *Técnica de gerenciamento de energia pelo lado da demanda* | *Tarifação horosazonal* | *GLD e Alternativas Tarifárias* (base OICS, 2021), relevante particularmente nos horários de pico da demanda (WEF, 2021).

Destaca-se a modalidade *feed-in* (FIT), em que os preços são fixados aos produtores de energia renovável (ER) para cada unidade de energia produzida e injetada na rede elétrica. Esta remuneração é garantida por um determinado período, o que incentiva a adoção de energias renováveis, pois possibilita um retorno satisfatório do investimento a longo prazo (YUEHONG *et al.*, 2020). No Brasil, as regras para esta modalidade são estabelecidas pela Resolução da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) nº 482/2012, modificada pelas Resoluções Aneel nº 687/2015 e nº 786/2017, na qual é

permitido aos consumidores instalar geradores de pequeno porte em suas unidades consumidoras e utilizar o sistema elétrico para injetar o excedente de energia, que é então convertido em crédito de energia válido por um determinado período. Estes créditos podem ser utilizados para abater o consumo da própria unidade consumidora ou, alternativamente, de outras unidades consumidoras do mesmo titular, previamente cadastradas e atendidas pela mesma distribuidora. Importante notar que incentivos fiscais, como créditos em impostos, podem não reverter em distribuição equitativa dos benefícios de acordo com as várias classes sociais. Para auxiliar essas iniciativas, pode ser relevante a **disponibilização de calculadora para análise de investimento em energia, possibilitando a análise de *payback* ao longo do ciclo de vida** (CHANG; FANG, 2017).

3.3. Política de promoção da geração distribuída de energia

Esta política trata da concepção e implementação de programas, projetos e ações que resultem na disseminação de sistemas mais distribuídos de energia. Sistemas de geração de energia não renovável centralizados e de grande porte via de regra resultam em grande impacto ambiental (CRUZ, 2018). Isto ocorre não só devido à própria natureza da fonte de energia, mas, também, a dificuldades intrínsecas à centralização como as longas distâncias de deslocamento para reparos e a escala dos impactos decorrentes de eventuais interrupções. De maneira similar, sistemas de geração de energia não renovável centralizados de grande porte também apresentam diversas desvantagens quando comparados com configurações distribuídas. Fazendas eólicas ou solares, usinas hidroelétricas, de biomassa, ou plantas geotérmicas são, via de regra, localizados em regiões rurais e em espaços abertos, distantes das zonas de maior concentração do consumo de energia e distantes de infraestrutura básica de suporte (POWERS, 2013; CRUZ, 2018).

Apesar de no Brasil o modelo predominante, ainda, ser baseado na geração centralizada, as Resoluções Normativas nº 482/2012 e nº 687/2015 da Aneel estabelecem as condições gerais para o início do processo de difusão de micro e minigeradores conectados na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras, e sistema de compensação de energia elétrica. As possibilidades vindas de novos modelos crescem, mas devem respeitar o marco regulatório.

Nesse sentido, uma alternativa à geração centralizada é a geração distribuída que se refere a unidades de produção de energia em pequena escala (por exemplo, um painel solar em um telhado) em que o cliente é o prosumer (produtor + consumidor) de sua própria energia, conforme ilustra o Quadro 2 a seguir (BACCHETTI, 2018; VILLA-ARRIETA; SUMPER, 2019; LINDBERG *et al.*, 2019).

Quadro 2 – Configurações distribuídas e descentralizadas de energia

Configuração	Isolado	*Minigrid*	*Grid de minigrids*	
Distribuído e conectado na rede				
Distribuído				
Descentralizado				
Descentralizado e conectado na rede				

Fonte: Bacchetti (2018).

Outra alternativa ao modelo centralizado é a geração descentralizada, que se refere a unidades de produção de energia em pequena escala que fornecem energia para clientes localizados nas proximidades (BACCHETTI, 2018). Nesse contexto, a política a que se refere essa seção trata de **implementar programas, projetos e ações que estimulem a adoção de configurações distribuídas ou descentralizadas para a geração de energia**. Para as configurações distribuídas, implica **incentivar consumidores a se tornarem prosumers,** o que é um dos desafios centrais desta política (LINDBERG, *et al*., 2019).

A unidade de produção pode ser autônoma ou conectada a outras unidades geradoras de energia ou à rede principal ou combinadas com sistemas de armazenamento e gestão da energia, localizadas próximos ao ponto de consumo (HERRERA, 2002; BACCHETTI, 2018). Caso geradores de energia distribuídos, pautados pelo uso de fontes renováveis, estiverem conectadas entre si (por exemplo, para compartilhar o excedente de energia), o resultado é a **implementação de rede de energia renovável local**, que por sua vez pode ser conectada a redes semelhantes próximas (VEZZOLI *et al*., 2015). Para alcançar efetividade é relevante considerar a **criação de incentivos para encorajar a agregação da geração distribuída em horários de pico** (WEF, 2021).

Dentro das estratégias para a produção distribuída ou descentralizada de energia, destacam-se as iniciativas de base comunitária. O estudo de CE Delft (2016) estima que, em 2050, cerca de metade dos cidadãos europeus (incluindo comunidades, escolas, hospitais) produzirão sua própria eletricidade renovável, suprindo cerca de 45% de sua demanda de energia. Projetos comunitários de energia tem o potencial de realizar a transformação na direção de sistemas mais renováveis de forma mais rápida, com benefícios sociais adicionais, como a ampliação da coesão social (FEU, 2018**).** Para que essas

práticas sejam disseminadas é necessário o **provimento de estímulo e suporte para a instalação de cooperativas de energia renovável distribuída** (FEU, 2018).

Importante notar que a transição para uma economia de baixo carbono passa pela adoção de sistemas de energia distribuídos ou descentralizados. Esta transição, por sua vez, é dependente de três variáveis principais: a disponibilidade de fontes renováveis de energia; os padrões de consumo de energia dos consumidores; as características regulatórias e mercadológicas favoráveis ao investimento em soluções distribuídas (VILLA-ARRIETA; SUMPER, 2019). Quanto a este último aspecto, vale notar que o Brasil vem ampliando as oportunidades de créditos e benefícios fiscais para a energia renovável distribuída, destacando-se o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), voltado ao estímulo da geração de energia a partir de placas solares instaladas em unidades consumidoras, integrada ao sistema das distribuidoras de energia.

3.4. Política para eficiência energética

Esta política trata da concepção e implementação de programas, projetos e ações que promovam a ampliação da eficiência energética em todas as esferas das cidades. As duas principais estratégias para a migração para cidades de baixo carbono são a gradual substituição de combustíveis fósseis para fontes de energia limpa e, ao mesmo tempo, a redução dos níveis de consumo de energia. Portanto, a transição para matrizes energéticas de baixo carbono necessita ser acompanhada por medidas para ampliação da eficiência no consumo de energia e intervenções em hábitos e comportamentos (KAMMEN; SUNTER, 2016). Políticas voltadas à eficiência energética buscam reduzir ou eliminar todas as formas de perdas de energia (LUGARIC; KRAJCAR, 2016). Para alcançar este intento, demandam a implementação de programas para o **estabelecimento de padrões mínimos de eficiência energética para edificações assim como serviços e produtos manufaturados** (JEFFERSON, 2000; AKADIRI *et al.*, 2019; YUEHONG *et al.*, 2020; WEF, 2021) *Projetos luminotécnicos* | *Certificação LEED* (base OICS, 2021). Requer-se do próprio processo de suprimentos municipal a **integração de parâmetros de eficiência energética como item de especificações para compras públicas** (JEFFERSON, 2000) e a **implementação de depreciação acelerada de equipamentos de baixa eficiência energética** (CHANG; FANG, 2017). Note-se que essas definições são de caráter dinâmico, pois dependem da evolução das tecnologias disponíveis no mercado (YUEHONG *et al.*, 2020).

De acordo com a Agência Internacional de Energia, 42% do consumo global de eletricidade é consumido na indústria; 27% são consumidos por edificações, 22% em serviços comerciais ou públicos. Do total consumido, 76,5% provêm de fontes não renováveis (IRENA, 2017; IRENA, 2018). Destes, segundo o Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), o setor de edificações é o que oferece o maior potencial para a redução da emissão dos gases estufa na comparação com outros setores (estimado em 29% até 2030). Note-se que o Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 aponta que as edificações devem contribuir com cerca de 59% nos ganhos de eficiência elétrica em 2030 (BRASIL, 2021). Esse é um dado relevante na medida que as edificações residenciais, comerciais e os prédios públicos representaram em 2019 cerca de 46% do consumo de eletricidade (BRASIL, 2021). **Estabelecer programas para edificações com energia zero** (edificações de elevada eficiência energética nos quais as necessidades quase nulas de energia são atendidas pela geração local de

energia renovável) (SANTOS, 2017), o que se configura como uma estratégia relevante para se realizar este potencial (KAMMEN; SUNTER, 2016).

A busca pela eficiência energética nas habitações contempla tanto a aplicação de soluções de natureza passiva (adequação do albedo urbano; adequação da volumetria e orientação das edificações para luz solar e ventos; distribuição de áreas envidraçadas; ventilação natural diurna e noturna; prateleiras de luz; proteção externa das aberturas) como ativa (**realizar a substituição tecnológica de sistemas de iluminação artificial, sistemas de aquecimento e dos aparelhos eletroeletrônicos**) (ICLEI, 2009; MARINS, 2010; MARINS, 2010). Para realizar este potencial de aumento da eficiência energética, uma estratégia efetiva é **realizar iniciativas de retrofit (reforma com atualizações) de habitações de baixa renda, edifícios comerciais e públicos** (ARGYRIOU *et al.*, 2017; CHANG; FANG, 2017; WEF, 2021) *Projeto de eficiência energética em complexos fabris* | *Eficientização energética* (base OICS, 2021). É importante que programas voltados ao *retrofit* de edificações promovam mais do que a mera substituição de sistemas de iluminação ou acondicionamento de ar, atuando no envelope da edificação através da melhoria do isolamento térmico de paredes e aberturas (KAMMEN; SUNTER, 2016). Até mesmo o **estímulo à implementação da coleta de água da chuva** tem impacto direto na redução do consumo de energia e pode ser parte da ação de *retrofit* (ICLEI, 2009).

Transporte é outro setor de grande relevância na busca pela eficiência energética nas cidades. O setor responde por cerca de 23% das emissões de carbono associadas à energia. Assim, não é possível contemplar as mudanças climáticas sem investir em transportes de baixo carbono e com grande eficiência no uso de energia. O Paris Process on Mobility and Climate aponta como meta a redução das emissões no setor de 7,7 gigatoneladas por ano para 2 ou 3 gigatoneladas por ano. As principais métricas para a descarbonização e eficiência do transporte urbano incluem: a) intensidade do uso de combustíveis fósseis; b) intensidade do consumo de energia; c) a taxa de ocupação dos veículos; d) distâncias de transporte; e) número de deslocamentos motorizados (KAMMEN; SUNTER, 2016). Para contribuir com essas métricas, uma estratégia relevante é **estabelecer padrões de emissão zero** e **implementar selos de eficiência energética para veículos** (CHANG; FANG, 2017; IRENA, 2018), assim como **provimento de infraestrutura pública para a mobilidade ativa** (ICLEI, 2009). *Reabilitação de espaço residual como infraestrutura de circulação* (base OICS, 2021).

A transição para sistemas de energia renovável nas cidades, em parte configurados de forma distribuída, necessita ser acompanhada pelo investimento na **implementação de formas de armazenamento da energia para a rede e para consumidores finais** (BIBRI, 2020) *Armazenamento de energia elétrica* (base OICS, 2021).Da mesma forma, há a necessidade de infraestrutura de carregamento de energia, o que demanda a consideração de padrões de interoperabilidade entre fabricantes. Com soluções para o armazenamento da energia, evita-se a a descarga de energia limpa em períodos de necessidade mínima, o que contribui para ampliar a eficiência e segurança do sistema elétrico. Estas soluções incluem o armazenamento em grande escala (para demandas de GW); armazenamento em rede e ativos de geração (em escalas de MW); armazenamento no âmbito do próprio consumidor final (em escalas de KW). Entre as principais tecnologias, destacam-se o bombeamento hidrelétrico o ar comprimido; o armazenamento térmico (acumular energia em materiais que permitem sua liberação de forma controlada); o supercondensador (armazenamento de energia na forma de cargas eletrostáticas);

os volantes de inércia (*flywheel*); as baterias (lítio, NaS); e as pilhas de combustível de hidrogênio (armazenamento químico contínuo) (WINFIELD *et al.*, 2018).

Importante notar que se observa um crescimento global na adoção de veículos elétricos (>40% por ano), sendo que há expectativa de que ocupe cerca de 25% da frota total em 2040 (NEWMAN, 2017). Neste sentido, sob a perspectiva da segurança no fornecimento, pode-se considerar os **veículos elétricos como uma rede de unidades de armazenamento de energia distribuídas através da cidade** (LUGARIC; KRAJCAR, 2016; ZENG *et al.*, 2021). Outra alternativa é a **utilização de estacionamentos como sistemas de armazenamento de energia em rede** (ZENG *et al.*, 2021).

No âmbito da cidade como um todo essa política trata de buscar a **interação e integração sinergética dos fluxos de materiais e energia de/através/para o meio urbano** (AKADIRI *et al.*, 2019; RED, 2021). Metabolismo urbano é uma metáfora útil para a compreensão desta política (ZIEBELL; SINGH, 2018). Dentre os fluxos de energia principais deste "metabolismo urbano" destacam-se aqueles dedicados à captação, tratamento e distribuição da água; os fluxos para a gestão dos resíduos urbanos; os fluxos associados ao transporte e, finalmente, aqueles associados ao sistema de alimentos. Incluem-se nessa perspectiva as iniciativas que buscam **aproveitar o calor gerado no setor industrial ou de serviços (datacenters) ou aproveitar a energia produzida a partir de resíduos urbanos ou das estações de tratamento de esgoto** *Aproveitamento energético do biogás proveniente do tratamento de resíduos sólidos orgânicos* | *Aproveitamento energético do biogás gerado em aterros de resíduos sólidos urbanos* (base OICS, 2021) (RED, 2021; ICLEI, 2009).

3.5. Política de urbanização voltada à redução da demanda de energia

Esta política trata da concepção e implementação de programas, projetos e ações que utilizem a **configuração do espaço urbano como estratégia para reduzir a demanda ou ampliar a eficiência no consumo de energia**. Um dos aspectos centrais trata da própria morfologia urbana, a qual envolve estratégias específicas como:

(a) **a interferência nas condições de ventilação e fluxos de calor**: trata de mitigar aquecimento excessivo em ambientes externos por meio do redesenho do espaço urbano (MAUREE *et al.*, 2019), atuando em aspectos como a largura, forma, configuração e orientação das vias, a altura e recuo das edificações e a densidade, tipo e disposição da vegetação, incluindo a arborização dos passeios (MARINS, 2010);

(b) **atuar na compactação ou dispersão urbana**: por meio de parâmetros e diretrizes para parcelamento, aproveitamento, uso e ocupação do solo, o volume e disposição dos espaços urbanos abertos em relação às áreas ocupadas, com impactos diretos na distribuição da densidade populacional (MARINS, 2010); e

(c) **especificar materiais e superfícies que contribuam para aquecimento ou resfriamento do espaço urbano**: em particular a absorção térmica, as cores pregnantes no espaço urbano e suas implicações na radiação solar, as características da pavimentação e da impermeabilização do solo (MARINS, 2010).

Mais recentemente destacam-se as iniciativas voltadas à **implantação de fazendas urbanas** *Agricultura urbana* (base OICS, 2021), com engajamento direto da população. Muito embora possam ser fonte de geração de insumos para a geração de energia apontam que outros impactos podem ser ainda mais relevantes como a redução das ilhas de calor nas cidades, a mitigação dos impactos de chuvas torrenciais nos sistemas de água pluvial e a redução das necessidades energéticas para o transporte de alimentos (KAMMEN; SUNTER, 2016).

O planejamento urbano afeta, de forma direta, a configuração do sistema de mobilidade, contribuindo de forma direta na redução do consumo de energia associado aos deslocamentos através da cidade. A mobilidade ativa (caminhar, utilizar bicicleta), depende da adoção de políticas que tornem o espaço urbano mais atrativo a modais ativos, oferecendo configurações mais distribuídas de forma a possibilitar o atendimento das necessidades específicas locais de forma ágil e direta. Isso demanda a opção por cidades mais compactas, policêntricas, conectadas digitalmente e com maior diversidade nas funções permitidas, reduzindo a demanda por mobilidade motorizada (UNHABITAT, 2021).

3.6. Política de implementação de redes inteligentes (*smart grids*)

Esta política trata da concepção e implementação de programas, projetos e ações voltados à disseminação de **tecnologias inteligentes (smart technologies) capazes de otimizar a utilização de seus recursos energéticos disponíveis** *Smart Grid* | *Ferramenta de gerenciamento energético* | *Telegestão em Iluminação pública* (base OICS, 2021). Esta gestão ótima dos recursos energéticos no meio urbano atua como uma plataforma para outras políticas associadas à energia (LUGARIC; KRAJCAR, 2016). *Smart grids* permitem fluxos de energia e informação bidirecionais entre fornecedores e usuários, possibilitando acesso a dados em tempo real, contribuindo na ampliação da confiabilidade dos serviços, melhor controle de custos, aperfeiçoamento do planejamento do consumo com alterações nos picos de consumo e melhor compreensão das capacidades da rede (BIBRI, 2020).

Fontes de energia renováveis intermitentes (solar, vento) são particularmente desafiadoras para métodos convencionais de operação de sistemas elétricos. **Sistemas de energia renovável híbridos (solar, vento e biomassa)** *Sistemas híbridos de geração* (base OICS, 2021) têm-se mostrado efetivos em lidar com essa intermitência e, ao mesmo tempo, permitido melhorar a eficiência desses sistemas (BAGHERI *et al.*, 2018). Sistemas inteligentes de energia têm possibilitado, também, a **ampliação das sinergias entre agentes do mercado de maneira a alcançar as soluções ótimas** para cada setor individual e para toda a cidade como um todo. Através destas sinergias contribui para a redução do consumo de energia primário assim como o suprimento da demanda adicional, tomando vantagem das fontes de energia renováveis locais (VILLA-ARRIETA; SUMPER, 2019).

Na geração distribuída de energia, as tecnologias *smart* contribuem para conferir maior flexibilidade no provimento de energia elétrica, ampliando a eficiência do sistema de distribuição, facilitando a integração de fontes renováveis de energia na rede, empoderando o consumidor na gestão do sistema (VILLA-ARRIETA; SUMPER, 2019). *Microgrids* associados à geração distribuída são tipicamente alicerçados em geradores ou fontes renováveis eólicas ou solares. A energia gerada suplementa a demanda durante períodos de alta demanda. Portanto, a adoção de *smart grids* em

conjunção a fontes renováveis contribui para reduzir a suscetibilidade dos *grids* principais a desastres e catástrofes. Requerem a **implementação de medidores inteligentes (*smart meters*) como um componente essencial para sua operação** (CHUI *et al.*, 2018).

3.7. Política de estímulos à inovação em serviços associados à energia

Esta política trata de programas, projetos e ações voltadas a **estimular o desenvolvimento de ofertas inovadoras em serviços associados à energia**. Configurações distribuídas ou descentralizadas para oferta de energia implica em fomentar oportunidades de novas formas de gestão do sistema ao mesmo tempo que **estimular a implementação de novos modelos de negócio associados à energia**. Dentre os novos modelos de negócio destacam-se aqueles associados a mudanças nos paradigmas de propriedade dos artefatos envolvidos na geração, distribuição e uso da energia (LINDBERG, *et al.*, 2019).

Um mix de produtos e serviços que juntos **oferecem soluções para a satisfação das necessidades de energia dos usuários/clientes são chamadas de Sistemas Produto+Serviço** (PSS) *Serviço de energia solar por assinatura* (base OICS, 2021). Entre suas tipologias, incluem-se (VEZZOLI *et al.*, 2018):

(a) **PSS orientado a produtos:** a oferta de serviços de suporte ao ciclo de vida de produtos de energia (erviços de projeto, instalação, manutenção, monitoramento associado a geradores eólicos ou solares);

(b) **PSS orientado ao uso:** oferta de acesso a plataforma de produtos e serviços, sem que o cliente/usuário detenha a propriedade dos produtos (plataformas de armazenamento de energia operadas pelo cliente/usuário); e

(c) **PSS orientado ao resultado:** oferta de resultados para o cliente/usuário, sem que haja a propriedade dos produtos ou a necessidade de se operá-los (contratação de metas de desempenho de "água quente" para piscinas de clubes e condomínios ao invés de aquisição de equipamentos de aquecimento; contratação de resultados de iluminação ao invés de aquisição de rede elétrica e luminárias; contratação de toneladas transportadas ao invés da aquisição motores de propulsão).

A servitização é uma estratégia efetiva para contemplar a comoditização (FANG *et al.*, 2008), o que pode ser relevante para ampliar o valor percebido associado às ofertas não convencionais de geração de energia. Ademais, com a **promoção da servitização no setor de energia** abrem-se oportunidades para realizar mudanças comportamentais profundas, que contribuem de forma direta com a ecoeficiência. Um exemplo é a adoção do uso compartilhado de produtos, trazendo consigo o benefício de **proporcionar maior intensidade de utilização dos produtos associados à energia**. No limite, por meio da integração de serviços na oferta associada à energia, é possível ocorrer a desmaterialização do consumo, particularmente nas situações em que são ofertados resultados ao invés de produto. Por fim, a migração para soluções baseadas em serviço pode proporcionar a otimização do sistema como um todo, **ao propiciar maior interação dos interessados na cadeia** (BARTOLOMEO *et al.*, 2003).

3.8. Política de planejamento da energia

Esta política trata da concepção e implementação de programas, projetos e ações para efetivação de um **processo sistemático de planejamento energético sustentável para a cidade** *Plano Municipal de Gestão da Energia Elétrica* (base OICS, 2021). Este planejamento energético necessita levar em consideração não somente das demandas presentes, mas a garantia da satisfação das necessidades de energia futuras. Necessita, também, contemplar aspectos não somente técnicos, mas as implicações sociais, ambientais e econômicas das escolhas realizadas (ZHU *et al.*, 2021). As políticas que permeiam este planejamento precisam resultar em ações que desencorajam a utilização de combustíveis fósseis e, ao mesmo tempo, estimulam a migração para energias de fontes renováveis e ampliação na eficiência no uso da energia (AKADIRI *et al.*, 2019).

ICLEI (2009) aponta alguns potenciais impactos na cidade a partir da existência deste planejamento:

- Melhoria da qualidade do ar: iniciativas de gestão da energia são efetivas na melhoria da qualidade do ar em decorrência da redução dos níveis de poluição; redução de custos financeiros: o planejamento energético pode contribuir, em particular por meio das ações de eficientização energética, na redução dos custos de operação das demandas municipais, em particular aquelas associadas a serviços e edificações públicas.
- Geração de novos empregos: sistemas ineficientes configuram-se como oportunidades para converter os investimentos na criação de empregos de base local. Ademais, as economias advindas da maior eficiência energética podem ser redirecionadas em iniciativas geradoras de emprego e renda na comunidade.
- Desenvolvimento econômico local: a disponibilidade de energia é um elemento importante na atração de novos negócios assim como pode ser um estímulo ao empreendedorismo de base local, o que pode ser facilitado com a adoção de abordagens distribuídas para a geração de energia.
- Novas parcerias: para alcançar efetividade o planejamento da energia de uma cidade demanda necessariamente a colaboração entre diversos atores do primeiro, segundo e terceiro setor.

Equidade, viabilidade institucional, replicabilidade, eficiência e efetividade são exemplos de critérios utilizados para avaliar o sucesso de uma política voltada à energia (GUNGAH *et al.*, 2019). Assim, para se implementar o processo de planejamento energético da cidade é essencial que cidadãos, agências reguladoras regionais e nacionais, administração das cidades, representantes do setor de edificações, água/esgoto, infraestrutura e transporte, agentes financeiros, e provedores de serviços de energia, estejam devidamente alinhados e colaborem para uma agenda comum.

Os instrumentos disponíveis para a formulação de políticas para energias mais sustentáveis podem ser agrupados em: a) mandatórios (coercitivos); b) incentivadores; c) indutores (PEGELS *et al.*, 2018). Como ilustração, para incentivar e prover suporte na adoção de fontes renováveis de energia, faz-se útil que governos locais conduzam estudos técnicos de base para avaliar os potenciais de energia renovável na região, incluindo a avaliação dos padrões de vento e incidência solar nos telhados e espaços públicos. Tais estudos podem incluir avaliações do impacto destas tecnologias na paisagem, assim

como na fauna e flora local, contribuindo para a definição de escopo e especificações efetivamente viáveis no âmbito da cidade (CRUZ, 2018).

3.9. Política de promoção de comportamentos e competências para a energia sustentável

Esta política integra os programas, projetos e ações voltados à **promoção e indução de comportamentos que resultem na opção por fontes renováveis de energia e em maior eficiência no consumo**. Busca-se a promoção de comportamentos mais racionais no consumo, de tal maneira a que possam se converter em hábitos. Rahman *et al.* (2016) argumentam que o potencial para mudanças de comportamento é maior no ambiente doméstico, pois é onde as pessoas têm maior controle sobre o consumo de energia.

As estratégias para promover o comportamento sustentável podem ser agrupadas em três grupos (LILLEY, 2009; BHAMRA *et al.*, 2011):

(a) "guiar a mudança": este primeiro grupo de estratégias busca ampliar a compreensão e consciência sobre as repercussões holísticas ambientais, sociais e econômicas decorrentes das escolhas e comportamentos associados à energia. Um primeiro aspecto na ampliação da consciência acerca do consumo de energia é **viabilizar o acesso a informações sobre o próprio desempenho no consumo de energia (*ecofeedback*)** (FROEHLICH, 2011). Informações como o quanto foi consumido de energia, como foi distribuído esse consumo e em que horários houve maior consumo, são hoje providas em tempo real por medidores digitais (RAHMAN *et al.*, 2016; PODGORNIK *et al.*, 2016). Conforme argumenta Bidwell (2016), a falta de informações é um dos principais fatores que explicam as atitudes e opiniões sobre soluções em energia renovável e sobre a relevância da adoção de padrões de consumo e energia mais racionais. Fazendas eólicas frequentemente têm resistência de comunidades locais, muito embora tenham grande suporte da população em geral (BIDWELL, 2016). **Implementar programas de etiquetagem da eficiência energética de produtos** é uma estratégia bastante disseminada para auxiliar consumidores e empresas em sua escolha (JEFFERSON, 2000; CHAPMAN *et al.*, 2016; IRENA, 2018; YUEHONG *et al.*, 2020);

(b) "manter a mudança", com estímulos que motivem os cidadãos a consolidar comportamentos sustentáveis: estratégias de gamificação do processo de decisão e planejamento acerca do consumo de energia. Bull *et al.* (2018), Chang e Fang (2017) sugerem a **utilização de competições ou desafios como estratégia pedagógica efetiva para estimular a adesão a comportamentos mais racionais de uso da energia**. Com o advento de medidores digitais e Internet das Coisas (IoT), essas atividades beneficiam-se da disponibilidade de dados em tempo real, encorajando o aprendizado também entre consumidores (BULL *et al.*, 2018); e

(c) "garantir a mudança": aqui incluem-se medidas de caráter mais coercitivo, impedindo comportamentos considerados inadequados no consumo de energia. Um exemplo é o **estabelecimento de obrigações quanto a percentuais mínimos de geração de energia renovável em fornecedores** (JEFFERSON, 2000).

O processo de mudança do comportamento segue uma progressão em cinco etapas: pré-contemplação, contemplação, preparação, ação e manutenção. Na etapa de pré-contemplação, o indivíduo não tem pretensão em agir, seja por estar desinformado ou mal-informado sobre as consequências do seu comportamento. Na etapa de contemplação, o indivíduo pretende agir, pois compreende benefícios da mudança e os malefícios de manter o seu comportamento atual. Na etapa de preparação na qual o indivíduo começa a traçar planos e objetivos para concretizar a ação em busca de uma mobilidade mais sustentável. Na sequência, na fase de manutenção, demandam-se esforços para consolidar o novo comportamento, buscando convertê-lo em hábito (PROCHASKA; VELICER, 1997).

Conhecimento sobre energia, assim como a ideologia e atitude quanto às questões ambientais associadas à energia, são elementos centrais na construção de novos padrões de consumo. Tecnologias com alta eficiência energética têm sua efetividade limitada se não há adesão plena dos consumidores a comportamentos mais racionais (DALVI *et al.*, 2015). Sem essa adesão, as tecnologias mencionadas correm o risco de resultar em efeitos colaterais, em que a alta eficiência resulta justamente no estímulo a ampliar o consumo (a utilização da economia com luminárias com baixo consumo de energia na iluminação cênica de um jardim ou fachada, muitas vezes resultando em aumento do consumo total).

Campanhas de conscientização ajudam os consumidores a compreender as informações de desempenho de seu consumo, assim como as possíveis medidas a serem tomadas para ampliar esta performance (IRENA, 2018). Estas ações envolvem a inclusão de **energias renováveis e modelos distribuídos de geração de energia como conteúdo educacional** (IRENA, 2018), incluindo os prós e contras de novas alternativas de energia (SARRICA *et al.*, 2018). Com a ampliação da conscientização, contribuem **para criar condições para a transição na direção da sustentabilidade nos padrões de consumo e produção de energia** (IRENA, 2018).

De maneira similar, recomenda-se **oferecer o amplo acesso para as pessoas a informações relevantes acerca da geração, distribuição e uso de energia** (FEU, 2018). Assim como **possibilitar governança e transparência na gestão dos dados associados à energia** (WEF, 2021). Com o uso de grandes volumes de dados (*Big Data*) associados à Inteligência Artificial, estas campanhas podem ser customizadas para cada consumidor, com o **provimento de informações pertinentes ao contexto e necessidades de cada indivíduo** (PODGORNIK *et al.*, 2016).

Finalmente, para que as diversas políticas apresentadas até aqui alcancem efetividade, é necessária a **formação de recursos humanos com competências técnicas para atuar nos produtos e serviços voltados à energia renovável e eficiência energética** (JEFFERSON, 2000; IRENA, 2018; WEF, 2021). O desenvolvimento destas competências pode envolver a realização de projetos demonstrativos de energia sustentável voltados tanto a profissionais quanto à população em geral (CHANG; FANG, 2017).

4. Amostra de soluções promissoras

A partir da Revisão Bibliográfica Sistemática e da discussão com os especialistas no tema, a seguir são apresentadas as seis soluções apontadas como sendo de elevada relevância para disseminação nos municípios brasileiros. Soluções que representam investimento estratégico em energias renováveis quanto ao planejamento, tarifação, financiamento, minigeracão, configurações distribuídas e digitalização, promovendo o desenvolvimento energético urbano mais sustentável.

4.1. Implementação de um processo sistemático de planejamento energético para a cidade

4.1.1. Definição

A disseminação de sistemas descentralizados e distribuídos de geração de energia tem possibilitado às cidades maior protagonismo nas decisões de longo prazo relacionadas à energia, tanto do lado da oferta como da demanda. Dessa forma, conforme Collaço *et al.* (2019), esse planejamento deve ter seu escopo voltado não somente às tecnologias para a geração de energia, mas, muito importante, às decisões associadas ao planejamento urbano que afetam o consumo de energia.

4.1.2. Conexão com as políticas de energia

A implementação de um processo sistemático de planejamento energético para a cidade é elemento central para a própria Política de Planejamento Energético, sendo esta transversal a todas as outras políticas associadas à energia.

4.1.3. Impactos

Quando é adotado um processo sistemático e efetivamente holístico de planejamento de energia, considerando tanto a oferta como a demanda de energia, há oportunidades ampliadas não somente na redução e/ou maior eficiência no consumo de energia, mas, também, na redução de emissões dos gases de efeito estufa (COLLAÇO *et al.*, 2019). A adoção de um processo sistemático deve resultar na definição de parâmetros, metas, recursos e responsabilidades para: a) utilização de fontes renováveis de energia; b) a busca por uma configuração descentralizada e distribuída de energia; c) a ampliação da eficiência energética; d) as configurações e especificações urbanas voltadas à redução da demanda de energia; e) incentivos econômicos para a energia sustentável; f) os estímulos à inovação em serviços associados com a energia e, finalmente, g) ações voltadas à promoção de comportamentos e competências voltados à energia mais sustentável.

4.1.4. Aspectos práticos para implementação

No modelo de planejamento de energia para cidades proposto por Collaço *et al.* (2019), são utilizados parâmetros, como a forma urbana, a estrutura econômica, as funções urbanas e sua integração, situação socioeconômica, aspectos do comportamento das pessoas, aspectos bioclimáticos e o perfil dos recursos locais disponíveis. Há diversas ferramentas de apoio a este processo de planejamento, destacando-se a LEAP (*Low Emission Analysis Platform*) (anteriormente denominada *Long-range Energy Alternatives Planning System*), disponibilizada de forma gratuita para governos de países em desenvolvimento, tendo sido desenvolvida pelo Stockholm Environment Institute (SEI, 2022). Uma de suas vantagens é a clareza de sua lógica, facilitando o processo de análise de cenários para o tomador de decisão (HENRIQUES *et al.*, 2010). Modificações nos sistemas de fornecimento de energia para cidades, assim como características de suas edificações e do planejamento urbano, apresentam elevada complexidade para análise, o que pode demandar a utilização mais intensa de ferramentas de simulação e inteligência artificial. Modelos 3D de cidades (*vide* exemplo de aplicação em Berlin em Krüger e Kolbe (2012)), utilizando linguagens e formato CityGML, têm permitido a modelagem, a análise e as simulação de cenários, incluindo não só a dimensão da energia, mas, também, as emissões de dióxido de carbono.

4.2. Estabelecimento de tarifas dinâmicas em função do horário de consumo

4.2.1. Definição

A tarifa dinâmica trata da precificação variável da energia, possibilitando a variação horária desses preços de acordo com relação demanda/oferta, particularmente nos horários de maior consumo. Além do fator tempo, a dinamicidade do valor da tarifa pode, também, estar associada a outros fatores, como tipo da fonte de energia, a duração e/ou localização do consumo e ao tempo de utilização de baterias (no caso de veículos elétricos) (LIMMER, 2019).

4.2.2. Conexão com as políticas de energia

Essa solução tem impacto direto na Política de Incentivos Econômicos para a Energia Sustentável, apresentando também repercussões relevantes na Política de Promoção de Comportamentos e Competências voltados à Energia mais Sustentável.

4.2.3. Impactos

O estabelecimento de tarifas dinâmicas contribui, de forma direta, na maior eficiência da rede de distribuição de energia, sendo particularmente relevante nos horários de pico de consumo (WEF, 2021). Contribuem para ampliar a estabilidade e minimizar perdas no sistema de distribuição, reduzindo as

demandas de investimento na rede de distribuição e extensão do ciclo de vida de transformadores. Além disto, tarifas dinâmicas instrumentalizam o potencial de flexibilidade no consumo de energia em veículos elétricos, facilitando a integração deste modal com fontes renováveis de energia. Possibilitam, também, a indução de comportamentos mais racionais associados ao consumo de energia (LIMMER, 2019).

4.2.4. Aspectos práticos para implementação

A tarifa dinâmica requer redes inteligentes que possibilitem comunicação bidirecional, entre os fornecedores e os consumidores de energia. A opção por tarifas dinâmicas requer a implementação de medidores inteligentes, os quais permitem o monitoramento e controle remoto do consumo por consumidores e distribuidores de energia (LIMMER, 2019). Estas tecnologias resultam em outros desafios para a implementação de tarifas dinâmicas, como a segurança e sigilo dos dados dos consumidores.

Outro desafio importante para implementação da tarifa dinâmica é a determinação de benefícios econômicos que efetivamente motivem consumidores a mudarem comportamentos e hábitos. De fato, benefícios financeiros marginais podem não ser suficientes para alcançar estas mudanças. Neste sentido, Katz *et al.* (2018) argumentam que, para se obter efetiva mudança no comportamento associado ao consumo de energia, pode ser necessária a variação nas taxas de impostos aplicados de acordo com o horário do dia, ampliando os benefícios financeiros para consumidores.

Importante notar que a Aneel estabeleceu um programa piloto de Resposta da Demanda, conforme Resolução Normativa nº 792/2017, estendido pela Portaria MME nº 460/2020. A Portaria Normativa nº 22/GM/MME, de 23 de agosto de 2021, estabeleceu diretrizes para a Redução Voluntária de Demanda de Energia Elétrica (RVD), o qual é um mecanismo que possibilita que consumidores do mercado livre diminuam o consumo em determinado período em troca de uma recompensa financeira.

4.3. Ampliar a oferta de alternativas de financiamento que incentivem a adoção de energia renovável

4.3.1. Definição

Esta solução trata da ampliação do leque de alternativas à disposição de pessoas e organizações para o financiamento da implantação de soluções em **energia renovável** *Leilões de Renováveis* (base OICS, 2021) (JIANG *et al.*, 2020; FEU, 2018).

4.3.2. Conexão com as políticas de energia

Esta solução é central para a implementação da Política de Incentivos Econômicos para a Energia Sustentável, podendo ser concebida de forma a impactar na Política de Promoção da Geração Distribuída de Energia.

4.3.3. Impactos

Ampliar as alternativas de financiamento pode contribuir de forma direta para que a cidade alcance maior equidade no acesso de toda a população à energia renovável. Para tanto, deve ser direcionada atenção especial para iniciativas de base comunitária e de populações vulneráveis (ADIL; KO, 2016; FEU, 2018). As alternativas de financiamento podem auxiliar, também, na indução da adoção de configurações mais distribuídas de geração de energia, demandando esforços para tornar mais atrativa a remuneração de iniciativas com esse foco (FEU, 2018). No caso da geração distribuída orientada a edifícios públicos, tem-se a redução do custeio público, com o benefício adicional de estimular a instalação de fabricantes e prestadores de serviços locais (CEBDS, 2016).

4.3.4. Aspectos práticos para implementação

Como o principal componente do custo de empreendimentos voltados a fontes renováveis de energia é o investimento inicial, políticas de crédito e incentivos fiscais são eficazes para a redução desses custos. No leque de alternativas de financiamento de energias renováveis destacam-se:

(a) a) articulação com organismos multilaterais (Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID)), fundos temáticos (Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF)) e agências (China Exim Agency);

(b) b) instrumentos financeiros como *Green bonds* (títulos de dívida que financiam projetos de mitigação da mudança climática ou com impacto ambiental positivo) e alternativas para diminuição do custo de hedge, ou seja, o risco advindo da variação excessiva dos preços (fundos públicos); e

(c) c) Modelos de negócio: autofinanciamento, financiamento com posse de terceiros, financiamento público ou via *utilities*, investidores institucionais e securitização (em que a dívida é transferida, vendida, na forma de títulos) (CEBDS, 2016).

No âmbito municipal, pode-se empregar desconto na alíquota do ISS para serviços de instalação de geração distribuída (alíquota mínima do ISS é 2%). Apesar do impacto na redução da receita tributária, este pode ser compensado com a instalação de novas empresas e dinamização do segmento de serviços. Note-se que o investimento em **energias renováveis demanda a oferta de contratos de longo prazo para geração por fonte renovável de energia** *Geração de energia solar distribuída através de sistema de compensação energética* (base OICS, 2021), independentemente de sua utilização (BAGHERI *et al.*, 2018; YUEHONG *et al.*, 2020), e/ou aquisição do excedente de energia renovável produzida (tarifa *feed in*) (CHAPMAN *et al.*, 2016).

4.4. Estimular a minigeração para o autoconsumo com foco na energia solar

4.4.1. Definição

Esta solução trata da geração de energia elétrica em unidades consumidoras através de painéis fotovoltaicos. Conforme a Aneel (2015), a microgeração trata de sistemas com potência instalada menor ou igual a 75 kW e conectados na rede de distribuição.

4.4.2. Conexão com as políticas de energia

Esta solução tem direta relação com a "Política de estímulo para a utilização de fontes renováveis de energia" e, também, com a "Política de promoção da geração distribuída de energia". É beneficiada pelas soluções implementadas no âmbito da "Política de implementação de redes inteligentes (*smart grids*)" e da "Política de incentivos econômicos para a energia sustentável".

4.4.3. Impactos

Os impactos que usualmente motivam consumidores a aderir à microgeração de energia incluem os ganhos com tarifas menores; a maior proteção contra eventuais crescimentos futuros nas taxas de energia; o impacto na valorização dos imóveis e maior segurança quanto à disponibilidade de energia, ampliando a autossuficiência da moradia. Sob a perspectiva ambiental tem-se a redução nas emissões de gases de efeito estufa; redução da dependência de combustíveis fósseis (BALCOMBE, 2013; SIMPSON; CLIFTON, 2015; VIRUPAKSHA *et al.*, 2019) e a compreensão de que se trata de uma tecnologia com baixo impacto ambiental na fase de uso, sendo que ao final do ciclo de vida a quase totalidade dos painéis são passíveis de reciclagem. O tema da micro e minigeração distribuídas (MMGD) tem tamanha relevância estratégica para o País que o estímulo para sua disseminação consta do Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (PDE 2030) (BRASIL, 2021).

4.4.4. Aspectos práticos para implementação

Conforme a Aneel (2018), quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele mesmo período, o consumidor passa a ter créditos que podem ser utilizados para reduzir o valor da fatura dos meses seguintes. Estes créditos têm validade de até 60 meses, sendo possível sua utilização no abatimento do consumo de outras unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Tem-se também a modalidade da "geração compartilhada", em que diversos interessados podem se unir em consórcio ou em uma cooperativa para realização de micro ou minigeração distribuída, e utilizando a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados. Note-se que Simpson e Clifton (2015) argumentam que, juntamente com benefícios financeiros atrativos, as ações

voltadas à promoção da microgeração fotovoltaica devem incluir ações continuadas de comunicação e capacitação, em linguagem apropriada ao consumidor. Importante notar também que a eficiência de conversão da radiação solar em energia elétrica é menor que 25%, sendo o restante convertido em calor. Altas temperaturas, umidade, infiltração de vapor e raios ultravioletas degradam as células com o passar do tempo, reduzindo sua performance (ZILLI *et al.*, 2018). Ndiaye *et al.* (2014) estimam que, em ambientes tropicais, ocorre uma redução da eficiência da ordem de 0,3 a 3% por ano. O estudo de Zilli *et al.* (2018) mostra que a existência ou não de sistema de arrefecimento da temperatura tem direto impacto na eficiência de painéis fotovoltaicos, com ganhos em voltagem, corrente e níveis de eficiência.

4.5. Promover configurações distribuídas para a geração de energia

4.5.1. Definição

Unidades de geração de energia em pequena escala, conectadas em rede (minirredes ou redes de minirredes) ou isoladas, em que o cliente é o prosumer (produtor + consumidor) de sua própria energia (BACCHETTI, 2018; VILLA-ARRIETA; SUMPER, 2019; LINDBERG *et al.*, 2019).

4.5.2. Conexão com as políticas de energia

Esta solução é elemento central da Política de Promoção da Geração Distribuída de Energia.

4.5.3. Impactos

A geração de energia distribuída contribui sinergicamente para outros desenvolvimentos locais em atividades como abastecimento de água, transporte e habitação (ADIL; KO, 2016). Outras vantagens de sistemas de energia renovável distribuída incluem sua relativa facilidade e rapidez de implementação, não demandando uso intensivo do solo. Quando adequadamente concebidos, resultam em menor proeminência na paisagem urbana ou em melhor integração estética; reduzem a probabilidade de resistência de atores locais (CRUZ, 2018); reduzem as emissões de baixo carbono; reduzem a necessidade de investimentos para *upgrade* dos sistemas existentes; ampliam a independência e segurança local com respeito ao suprimento de energia (KAMMEN; SUNTER, 2016). Destaca-se também a redução das distâncias de deslocamento entre os atores na cadeia de valor, incluindo a maior facilidade de coleta e destinação dos artefatos ao final do seu ciclo de vida. Há, ainda, maior probabilidade de se efetivamente priorizar o meio ambiente sobre ganhos financeiros imediatos, dado que os usuários/clientes podem manter um contato direto com os impactos ambientais decorrentes de suas escolhas (SANTOS *et al.*, 2021).

4.5.4. Aspectos práticos para implementação

A abordagem mais disseminada para a geração distribuída é aquela realizada em pequena escala, como painéis fotovoltaicos e pequenas turbinas eólicas, comumente instaladas junto à própria habitação ou ambiente de trabalho do consumidor. Sua vantagem para as políticas voltadas à sua promoção é sua escalabilidade no âmbito local.

O zoneamento em cidades ao redor do mundo tem possibilitado a geração de 4 kW a 100 kW para suprir demandas de habitações e pequenas edificações (CRUZ, 2018). Observa-se, inclusive, o estabelecimento de parâmetros mínimos de captação de energia de fonte renovável (IRENA, 2018). Desta forma, esta política trata da conversão das edificações em componentes ativos na geração de energia no meio urbano. Busca-se, desta forma, estimular que edificações gerem a maior parte de suas necessidades energéticas a partir de fontes renováveis implementadas localmente ou na própria edificação (LUGARIC; KRAJCAR, 2016), armazenando o excesso da geração e/ou alimentando esta energia excedente em redes inteligentes (*smart network*) (KAMMEN; SUNTER, 2016). Para tanto é necessário o estímulo à ampliação da oferta de soluções que permitam a geração no próprio terreno ou telhado dos moradores e, por conseguinte, possibilitar que empresas possam instalar tecnologias de energia renovável em habitações privadas (FEU, 2018).

4.6. Digitalização da gestão de *smart grids* distribuídos

4.6.1. Definição

Esta solução trata da digitalização da comunicação e controle de *smart grids* orientados a fontes renováveis de energia, em pequena escala e **geograficamente distribuídas** *Sistema de monitoramento para plantas de microgeração distribuída* (base OICS, 2021).

4.6.2. Conexão com as políticas de energia

A implementação de uma gestão digital alinha-se, de forma direta, à Política de Implementação de Redes Inteligentes (*smart grids*) e, tendo em vista suas repercussões nas atividades de monitoramento e controle remoto, também impacta na "Política de Planejamento da Energia".

4.6.3. Impactos

A gestão digital, remota de *smart grids* híbridos, permite lidar com a intermitência característica de fontes de energia renovável (solar, eólica). Com o provimento de dados, informações e inteligência de forma acurada e em alta velocidade por meio de tecnologias digitais, tem-se a oportunidade de maior otimização do sistema. Desta forma, melhora-se, também, a confiabilidade dos sistemas que integram fontes de energia renováveis (WINFIELD *et al.*, 2018), ampliando-se a capacidade de

planejamento do consumo e das demandas de expansão, manutenção ou atualização da infraestrutura de geração e distribuição de energia (BIBRI, 2020). Instrumentaliza-se a flexibilidade no provimento de energia, além de ampliar a governança através do maior empoderamento do consumidor na gestão do sistema (VILLA-ARRIETA; SUMPER, 2019), por exemplo, com o monitoramento em tempo real das tarifas e realização de decisões quanto a consumir ou vender a energia produzida na própria residência. Finalmente, sob a perspectiva ambiental, possibilita-se a mitigação das emissões de CO_2 em função da redução na demanda por energias de fontes não renováveis em horários de pico do consumo (MICELI, 2013).

4.6.4. Aspectos práticos para implementação

Plataformas que integram as tecnologias digitais emergentes (*blockchain*, inteligência artificial, IoT, *Big Data*) têm permitido o controle do sistema de energia em tempo real e com grande acurácia, possibilitando a redução de perdas e manobras mais eficientes, rápidas e seguras em linhas, subestações e equipamentos de rede. Com a comunicação multidirecional, essas plataformas vêm sendo dotadas da capacidade de realizar simulações, detectar perturbações em tempo real, além da autoconfiguração em caso de falhas. Incluem a integração com *call centers* para possibilitar o fornecimento de informações precisas sobre eventuais interrupções de energia e confirmar a operação de chaves. Note-se que *smart grids* podem integrar atributos para o controle, monitoramento e automação dos pontos de consumo de energia nas habitações, com ações como o desligamento automático de aparelhos quando há risco de danos devido a alterações na frequência da rede (MICELLI, 2013). Além disto, com o advento da tecnologia 5G, amplia-se drasticamente o espectro de possibilidades de melhoria na gestão de *smart grids* (robô de inspeção de temperatura em infravermelho transmitindo continuamente dados acerca do estado da rede). Entre as vantagens do 5G para *smart grids*, está o massivo volume de aparelhos que podem estar conectados simultaneamente, a aquisição onipresente de dados, a velocidade de transferência rápida, a segurança mais robusta, alta confiabilidade e baixo consumo de energia (HUI *et al.*, 2020).

Referências

ADIL, A. M.; KO, Y. Socio-technical evolution of decentralized energy systems: a critical review and implications for urban planning and policy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 57, p. 1025-1037, 2016. Disponível em: *http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.079*.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução normativa nº 482, 2012**. Disponível em: *http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf.* Acesso em: 22 nov. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução normativa nº 687, 2015**. Disponível em: *http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf.* Acesso em: 6 nov. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Geração distribuída, 2018.** Disponível em: *https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida.* Acesso em: 6 nov. 2021.

AKDIRI, S. S.; ALOLA, A. A.; AKADIRI, A. C.; ALOLA, U. V. Renewable energy consumption in EU-28 countries: Policy toward pollution mitigation and economic sustainability, **Energy Policy**, v. 132, p. 803-810, 2019. Disponível em: *https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.06.040*.

ARGYRIOU, I.; JUSTICE, J. B.; LATHAM, W.; WARREN, R. Urban sustainable energy development: A case study of the city of Philadelphia. **Local Environment**, v. 22, n. 12, p. 1461–1478, 2017. DOI: 10.1080/13549839.2017.1360262

BACCHETTI, E. **Towards sustainable energy for all designing sustainable product-service system applied to distributed renewable energy**. 235 p. 2018. Dissertation (Doctoral Design) – Politecnico di Milano, 2018. Disponível em: *https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/137938/1/2018_02_PhD_Bacchetti.pdf*

BAGHERI, M.; SHIRZADI, N.; BAZDAR, E.; KENNEDY, C. A. Optimal planning of hybrid renewable energy infrastructure for urban sustainability: Green Vancouver. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 95, p. 254-264, 2018. Disponível em: *https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.037*.

BALCOMBE, P.; RIGBY, D.; AZAPAGIC, A. Motivations and barriers associated with adopting microgeneration energy technologies in the UK. **Renewable and Sustainable Energy Reviews,** v. 22, p. 655-666, 2013. Elsevier. Disponível em: *http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.012*

BARTOLOMEO, Matteo *et al.* Eco-efficient producer services – what are they, how do they benefit customers and the environment and how likely are they to develop and be extensively utilised? **Journal of Cleaner Production**, v. 11, n. 8, p. 829-837, 2003. Disponível em: *https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00157-9*

BHAMRA, Tracy; LILLEY, Debra; TANG, Tang. Design for sustainable behaviour: Using products to change consumer behaviour. **The Design Journal**, v. 14, n. 4, p. 427-445, 2011. Disponível em: *https://doi.org/10.2752/175630611X13091688930453*

BIBRI, S. E. Data-driven environmental solutions for smart sustainable cities: strategies and pathways for energy efficiency and pollution reduction. **Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration**, v. 5, n. 66, 2020. Disponível em: *https://doi.org/10.1007/s41207-020-00211-w*

BIDWELL, D. The Effects of information on public attitudes toward renewable energy. **Environment and Behavior**, v.48, n. 6, p.743-768, 2016. Disponível em: *https://digitalcommons.uri.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=1004&context=maf_facpubs*

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico. 2020c. Disponível em: *https://www.in.gov.br/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421*

BULL, R. *et al*. Competing priorities: lessons in engaging students to achieve energy savings in universities, **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 19, n. 7, p. 1220-1238, 2018. Disponível em: *https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJSHE-09-2017-0157/full/pdf*

CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. Financiamento à Energia Renovável: entraves, desafios e oportunidades. 2016.

CE Delft. **The Potential for energy citizens in the European union**, 2016. Disponível em: bit.ly/energycitizenstudy Acesso em: 16 jul. 2021.

CHANG, Youngho; FANG, Zheng. Efficient, equitable and sustainable energy policy in a small open economy: Concepts and assessments, **Energy Policy**, v. 105, p. 493-501, 2017. Disponível em: *https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.031*

CHAPMAN, A.; MCLELLAN, B.; TEZUKA, T. Strengthening the energy policy making process and sustainability outcomes in the OECD through policy design. **Administrative Sciences**, v. 6, n. 3, 2016. Disponível em: *https://doi.org/10.3390/admsci6030009*

CHE MUNAAIM, M. A.; RAZALI, N.; AYOB, A.; HAMIDIN, N.; OTHUMAN MYDIN, M. A. Potential of micro hydroelectric generator embedded at 30,000 pe effluent discharge of sewerage treatment plant. **E3S Web of Conferences**, v. 34, p. 0-7, 2018. Disponível em: *https://www.researchgate.net/profile/Afizah-Ayob/publication/323850220_Potential_of_Micro_Hydroelectric_Generator_Embedded_at_30000_PE_Effluent_Discharge_of_Sewerage_Treatment_Plant/links/5ab36be20f7e9b4897c633da/Potential-of-Micro-Hydroelectric-Generator-Embedded-at-30-000-PE-Effluent-Discharge-of-Sewerage-Treatment-Plant.pdf*

CHUI, K. T.; LYTRAS, M. D.; VISVIZI, A. Energy sustainability in smart cities: Artificial intelligence, smart monitoring, and optimization of energy consumption. **Energies**, v. 11, n. 11, p. 1-20, 2018. Disponível em: *https://scholars.cityu.edu.hk/files/34440871/energy_sustainability_in_smart_cities.pdf*

COLLAÇO, F. M. A.; SIMOES, G.; PEREIRA, L.; DUIC, N. The dawn of urban energy planning: Synergies between energy and urban planning for São Paulo (Brazil) megacity. **Journal of Cleaner Production**, v. 215, p. 458-479, 2019. *DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.01.013*

COLLAÇO, F. M. A.; BERGMANN, C. Perspectivas da gestão de energia em âmbito municipal no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, p. 213-235, 2017. Disponível em: *https://www.scielo.br/j/ea/a/hXZkgrScCXDNK97M8f59w9K/?format=pdf&lang=pt*

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO – CBGDP, 8., Porto Alegre, 2011. **Trabalho apresentado...** Porto Alegre, 2011. Disponível em: *https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2205710/mod_resource/content/1/Roteiro%20para%20revis%C3%A3o%20bibliogr%C3%A1fica%20sistem%C3%A1tica.pdf*

CRUZ, Rizalino B. The Politics of land use for distributed renewable energy generation. **Urban Affairs Review**, v. 54, n. 3, p. 524–59, 2018. Disponível em: *https://doi.org/10.1177/1078087416672589*.

DALVI, S. D.; BHONSALEB, A. V.; DATARC, R. M. Analysis of Indian residences in terms of energy efficiency through energy education – a case study of Mumbai megacity. **International Journal of Ambient Energy**, 2015. Disponível em: *http://dx.doi.org/10.1080/01430750.2015.1023832*.

DI MATTEO, U.; NASTASI, B.; ALBO, A.; ASTIASO GARCIA, D. Energy contribution of OFMSW (Organic Fraction of Municipal Solid Waste) to energy-environmental sustainability in urban areas at small scale. **Energies**, v. 10, n. 2, 2017. Disponível em: *https://www.mdpi.com/1996-1073/10/2/229/pdf*

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Plano decenal de expansão de energia 2030**. Brasília: v. 1, p. 447, 2021. Disponível em: *https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030* Acesso em: 19 jul. 2021.

EUROPEAN COMMISSION – EC. **RED – Renewable Energy Directive**, 2021. Disponível em: *https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en*. Acesso em: 19 jul. 2021.

FANG, E.; PALMATIER, R.; STEENKAMP, J. B. Effect of service transition strategies on firm value. **Journal of Marketing**, v. 72, p. 1-14, 2008. Disponível em: *https://doi.org/10.1509/jmkg.72.5.001*

FEU – Friends of the Earth Europe. **CE Delft**: the potential of energy citizens in the European Union, 2018. Disponível em: *https://friendsoftheearth.eu/publication/ce-delft-the-potential-of-energy-citizens-in-the-european-union* Acesso em: 19 jul. 2021.

FROEHLICH, J. **Sensing and feedback of everyday activities to promote environmental behaviors**. 381 p. Dissertation (Doctoral Computer Science and Engineering) – University of Washington, 2011. Disponível em: *https://makeabilitylab.cs.washington.edu/media/publications/Sensing_and_Feedback_of_Everyday_Activities_to_Promote_Environmentally_Sustainable_Behaviors_rHNlWFF.pdf*

GLASER, B. The constant comparative method of qualitative analysis. **Society for the Study of Social Problems,** Oxford University Press, v. 12, n. 4, p. 436-445, 1965. Disponível em: *https://www.researchgate.net/profile/David_Morgan19/post/Has_anyone_used_the_constant_comparative_method_Any_tips/attachment/59d6259779197b8077983e71/AS:318237135310850@1452885054267/download/Glaser+65+Constant+Comparative+Analysis.pdf*

GLASER, B.; STRAUSS, A.L. **Discovery of grounded theory:** strategies for qualitative research. Routledge, 1967. Disponível em: *http://www.sxf.uevora.pt/wp-content/uploads/2013/03/Glaser_1967.pdf*

GUNGAH, A.; EMODI, N. V.; DIHOHA, M. O. Improving Nigeria's renewable energy policy design: A case study approach. **Energy Policy**, v. 130, p. 89-100, 2019. Disponível em: *https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.03.059*

HENRIQUES, A.; SANTOS, M.; ALEXANDRE, R.; MAGALHÃES, R. N. As potencialidades e restrições do leap para o desenvolvimento de matriz energética. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 7., **Anais...** p. 1-7, 2010. Disponível em: *https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/22005410*

HERRERA, S.M. DOE/FEMP's New program for: affordable distributed energy resources. **Cogeneration & Competitive Power Journal**, v. 17, n. 2, p. 58-62, 2002. Disponível em: *https://doi.org/10.1080/10668680209508971*

HOLLEY, Cameron; LECAVALIER, Emma. Energy governance, energy security and environmental sustainability: a case study from Hong Kong, **Energy Policy**, v. 108, p. 379-389, 2017. Disponível em: *https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.06.010.*

HOLTON, J. A. Grounded theory as a general research methodology. **Grounded Theory Review: An International Journal**, v. 7, n. 2, June 2008. Disponível em: *http://groundedtheoryreview.com/2008/06/30/grounded-theory-as-a-general-research-methodology/*

HORNER, N.; DE PAULA OLIVEIRA, A.G.; SILBERGLITT, R.; KHALED POPPE, M.; BRESSAN ROCHA, B. Energy foresight, scenarios and sustainable energy policy in Brazil. **Foresight**, v. 18, n. 5, p. 535-550, 2016. *DOI: 10.1108/FS-06-2015-0035*

HUI, H. *et al.* 5G network-based Internet of Things for demand response in smart grid: A survey on application potential. **Applied Energy**, v. 257, n. October 2019, p. 113972, 2020. Elsevier. Disponível em: *https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113972*

ICLEI – Local Governments for Sustainability. **Sustainable urban energy planning – a handbook for cities and towns in developing countries**. ICLEI, UN-HABITAT e UNEP. 2009, 22p. Disponível em: *https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=400&nr=293&menu=1515*

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2007: mitigation of climate change 2007**. Contribution of Working Group 3 of the Fourth Assessment Report. New York: Cambridge University Press, 2007. Disponível em: *https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg3/*

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Cities, towns and renewable energy – yes in my front yard**. Paris: OECD/IEA, 2009. 194 p. Disponível em: *https://iea.blob.core.windows.net/assets/53bca3ab-9c2f-4c4e-93bd-5e0034df7124/Cities2009.pdf*

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY – IRENA. **Renewable energy and jobs – annual review 2017**, Abu Dhabi, 2017, 24p. Disponível em: *https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/May/IRENA_RE_Jobs_Annual_Review_2017.pdf*

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY – IRENA. **Renewable energy policies in a time of transition**. IRENA, OECD/IEA and REN21, 2018, 112p. Disponível em: *https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_IEA_REN21_Policies_2018.pdf*

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY – IRENA. **Tracking SDG 7: the energy progress report**. EA, IRENA, UNSD, World Bank, WHO. World Bank, Washington, DC, 2020, 234p. Disponível em: *https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/2019-Tracking-SDG7-Report.pdf*

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY – IRENA. **Renewable energy policies for cities. Experiences in China, Uganda and Costa Rica**. Abu Dhabi, 2021, 158p. Disponível em: *https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/May/IRENA_Policies_for_Cities_Uganda_2021.pdf?la=en&hash=B6AF54CF466F70B83E96E9F322C09D8139AF9D03*

ISHUGAH, T. F.; LI, Y.; WANG, R. Z.; KIPLAGAT, J. K. Advances in wind energy resource exploitation in urban environment: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 37, p. 613-626, 2014. Disponível em: *https://www.researchgate.net/profile/Tf-Ishugah/publication/263048982_Advances_in_wind_energy_resource_exploitation_in_urban_environment_A_review/links/60b4a05945851557baaf225d/Advances-in-wind-energy-resource-exploitation-in-urban-environment-A-review.pdf*

JEFFERSON, Michael. Energy policies for sustainable development. *In:* UNDP – United Nations Development Programme; United Nations Department of Economic and Social Affairs; World Energy Council. **World energy assessment: energy and the challenge of sustainability**. New York, 2000. Chapter 12.

JIANG, Zhujun; LYU, Pinjie; YE, Liang; ZHOU, Yang wenqian. Green innovation transformation, economic sustainability and energy consumption during China's new normal stage. **Journal of Cleaner Production**, v. 273, n. 123044, 2020. Disponível em: *https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123044*.

JUÁREZ-HERNÁNDEZ, S.; CASTRO-GONZÁLEZ, A. Assessing the impact of biogas on the energy sustainability of an urban restaurant in Mexico. **Ingeniería, Investigación y Tecnología**, v. 17, n. 1, p. 61-71, 2016. Disponível em: *https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S140577431600007X/pdfft?md5=0c666f667699096a112bd4e8a07fed7b&pid=1-s2.0-S140577431600007X-main.pdf*

KAMMEN D. M.; SUNTER, D. A. City-integrated renewable energy for urban sustainability, **Science**, v. 352, n. 6.288, p. 922-928, 2016. Disponível em: *https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Kammen/publication/303369794_City-integrated_renewable_energy_for_urban_sustainability/links/5eb044d6a6fdcc7050a89199/City-integrated-renewable-energy-for-urban-sustainability.pdf*

KATZ, J.; KITZING, L.; SCHRÖDER, S. T.; ANDERSEN, F. M.; MORTHORST, P. E.; STRYG, M. Household electricity consumers' incentive to choose dynamic pricing under different taxation schemes. **Wiley Periodicals: Energy and Environment**, v. 7, n. 1, 2018.

KRÜGER, A.; KOLBE, T. H. Building analysis for urban energy planning using key indicators on virtual 3D city models - The energy atlas of Berlin. **ISPRS – International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 39, n. B2, p. 145-150, 2012. Disponível em: *https://www.researchgate.net/publication/276021397_Building_analysis_for_urban_energy_planning_using_key_indicators_on_virtual_3D_city_models_-_The_energy_atlas_of_berlin*

LILLEY, Debra. Design for sustainable behaviour: strategies and perceptions. **Design Studies**, v. 30, n. 6, p. 704-720, 2009. Disponível em: *https://doi.org/10.1016/j.destud.2009.05.001*

LINDBERG, M. B.; MARKARD, J.; ANDERSEN, A. D. Policies, actors and sustainability transition pathways: A study of the EU's energy policy mix, **Research Policy**, v. 48, n. 10, 2019. Disponível em: *https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.09.003*

LIMMER, S. Dynamic pricing for electric vehicle charging – a literature review. **Energies**, v. 12, n. 18, 2019.

LUGARIC, Luka; KRAJCAR, Slavko. Transforming cities towards sustainable low-carbon energy systems using emergy synthesis for support in decision making. **Energy Policy**, v. 98, p. 471-482, 2016. Disponível em: *https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.09.028*

MARINS, K. R. C. C. **Proposta metodológica para planejamento energético no desenvolvimento de áreas urbanas**. 800 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: *https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-09062010-155906/publico/TeseKarinMarinsFAUUSP2010.pdf*

MAUREE, Dasaraden; NABONI, Emanuele; COCCOLO, Silvia; PERERA, A. T. D.; NIK, Vahid M.; SCARTEZZINI, Jean-Louis. A review of assessment methods for the urban environment and its energy sustainability to guarantee climate adaptation of future cities, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 112, p. 733-746, 2019. Disponível em: *https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.005*

MICELI, R. Energy management and smart grids. **Energies**, v. 6, n. 4, p. 2262-2290, 2013. Disponível em: *https://www.researchgate.net/publication/274549799_Energy_Management_and_Smart_Grids*

MURRAY, R.; RASTEGAR, J. Novel two-stage piezoelectric-based ocean wave energy harvesters for moored or unmoored buoys. **Proceedings of SPIE**, **Active and Passive Smart Structures and Integrated Systems**, San Diego, v. 7288, p. 1117-1129, 2009. *DOI:10.1117/12.815852*

NDIAYE, A.; KÉBÉ, C. M. F.; CHARKI, A.; NDIAYE, P. A.; SAMBOU, V.; KOBI, A. Degradation evaluation of crystalline-silicon photovoltaic modules after a few operation years in a tropical environment. **Solar Energy**, 103, p. 70 e 77, 2014. Disponível em: *https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.02.006*

NEWMAN, Peter. The rise and rise of renewable cities, **Renewable Energy and Environmental Sustainability**. v. 2, n. 10, 2017. Disponível em: *https://doi.org/10.1051/rees/2017008*

OBSERVATÓRIO DE INOVAÇÃO PARA CIDADES SUSTENTÁVEIS – OICS. **Soluções e casos.** 2021. Disponível em: *https://oics.cgee.org.br/solucoes-e-casos/soluções*.

PEGELS, A.; VIDICAN-AUKTOR, G.; LÜTKENHORST, W.; ALTENBURG, T. Politics of green energy policy. **Journal of Environment and Development**, v. 27, n. 1, p. 26-45, 2018. Disponível em: *https://www.researchgate.net/publication/321858086_Politics_of_Green_Energy_Policy/fulltext/5a358de7a6fdcc769fd49f52/Politics-of-Green-Energy-Policy.pdf*

PODGORNIK, A.; SUCIC, B.; BLAZIC, B. Effects of customized consumption feedback on energy efficient behaviour in low-income households. **Journal of Cleaner Production**, v. 130, p. 25-34, 2016. Disponível em: *http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.009*.

POWERS, M. Small Is (Still) Beautiful: designing U.S. energy policies to increase localize renewable energy generation. **Wisconsin International Law Journal,** v. 30, n. 3, p. 596-667, 2013. Disponível em: *https://repository.law.wisc.edu/s/uwlaw/media/21380*

PROCHASKA, J. O.; VELICER, W. F. The Transtheoretical model of health behavior change. **American Journal of Health Promotion**, v. 12, n. 1, p. 38-48, 1997. Disponível em: *https://doi.org/10.4278/0890-1171-12.1.38*.

RAHMAN, K. A.; LEMAN, A. M.; YUSOF, M. Z. M.; SALLEH, M. M. N. Consumer awareness in energy efficiency for residential houses in peninsular Malaysia. **MATEC Web of Conferences, ConGDM 2016**, v. 78, n. 01010, 2016. Disponível em: *https://www.researchgate.net/publication/308940838_Consumer_Awareness_in_Energy_Efficiency_for_Residential_Houses_in_*

Peninsular_Malaysia/fulltext/57f93f9f08ae886b898462b1/Consumer-Awareness-in-Energy-Efficiency-for-Residential-Houses-in-Peninsular-Malaysia.pdf

REN21 – Renewable Energy Policy Network For The 21st Century. **Renewables 2012 global status Report**. Paris: REN21 Secretariat, 2012, p. 13-22. Disponível em: *https://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR2012_low%20res_FINAL.pdf*. Acesso em: 19 jul. 2021.

SANTOS, A.; VEZZOLI, C.; PARRA, B.G.; MATA, S.M.; BANERJEE, S.; KOHTALA, C.; CESCHIN, F.; PETRULAITYTE, A.; DUARTE, G.G.; DICKIE, I. B.; BALASUBRAMANIAN, R.; XIA, N. Distributed economy. *In:* VEZZOLI, Carlo; GARCIA, Brenda; KOHTALA, Cindy. (Org.). **Designing sustainability for all**. 1. ed.: Springer International Publishing, 2021, v. 1, p. 23-50. Disponível em: *https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-030-66300-1.pdf*

SANTOS, P. A. C. **NZEB: Nearly Zero Energy Building – metodologias para implementação de NZEB, aplicação a edifício unifamiliar novo**. 2017. 228 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2017. Disponível em: *https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/18518/1/Pedro-Andre-Cardoso-Santos.pdf*

SARRICA, Mauro; BIDDAU, Fulvio; BRONDI, Sonia; COTTONE, Paolo; MAZZARA, Bruno M. A multi-scale examination of public discourse on energy sustainability in Italy: Empirical evidence and policy implications, **Energy Policy**, v. 114, p. 444-454, 2018. Disponível em: *https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.12.021*.

STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE – SEI. Site institucional. 2022. Disponível em: https://www.sei.org/

SIMPSON, G.; CLIFTON, J. The emperor and the cowboys: The role of government policy and industry in the adoption of domestic solar microgeneration systems. **Energy Policy,** v. 81, p. 141-151, 2015. Elsevier. Disponível em: *http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.02.028*.

SMITH, D. W.; NORDHAUS, R. R.; ROBERTS, T. C.; FIDLER, S.; ANDERSON, J.; DANISH, K.; AGNEW, R.; CHUPKA, M. **Designing a climate-friendly energy policy:** options for the near term. 2002. Disponível em: *https://trid.trb.org/view/723994*. Acesso em: 19 jul. 2021.

SU, P. A.; KARNEY, B. Micro hydroelectric energy recovery in municipal water systems: A case study for Vancouver. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 8, p. 678-690, 2015. Disponível em: *https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.923919*

UNHABITAT. **Energy, 2021**. Disponível em: *https://unhabitat.org/topic/energy*. Acesso em: 19 jul. 2021.

USAID – World Health Organization; UNICEF – United Nations Children's Fund. **Improving nutrition outcomes with better water, sanitation and hygiene:** practical solutions for policies and programmes. World Health Organization.2015. Disponível em: *https://apps.who.int/iris/handle/10665/193991*

VERA, I. A.; LANGLOIS, L. M.; ROGNER H. H.; JALAL, A. I.; TOTH F.L. Indicators for sustainable energy development: An initiative by the International Atomic Energy Agency. **Natural Resources Forum**, v. 29, p. 274-283, 2005. Disponível em: *https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2005.00140.x*

VEZZOLI, C.; CESCHIN, F.; DIEHL, J. C. Sustainable product-service system design applied to distributed renewable energy fostering the goal of sustainable energy for all. **Journal of Cleaner Production**, v. 97, p. 134-136, 2015. Disponível em: *https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.069*.

VEZZOLI, C.; KOHTALA, C.; SRINIVASA, A.; DIEHL, J. C.; FUSAKUL, S. M.; XIN, L.; SATEESH, D.; SANTOS, A.; CHAVES, L. I.; CASTILLO, L. A. G.; GOMEZ, C. R. P.; NUNES, V. G. A.; LEPRE, P. R.; ENGLER, R. C.; MARTINS, S.B. **Sistema produto + serviço sustentável: fundamentos**. 1. ed. Curitiba: Editora Insight, 2018. v. 1. 178p. Disponível em: *https://acris.aalto.fi/ws/portalfiles/portal/42101197/aSistema_ProdutoServico_Sustentavel_web.pdf*

VILLA-ARRIETA, M.; SUMPER, A. Contribution of smart cities to the energy sustainability of the binomial between city and country. **Applied Sciences**, v. 9, n. 16, p. 3247, 2019. Disponível em: *https://doi.org/10.3390/app9163247*

VIRUPAKSHA, V.; HARTY, M.; MCDONNELL, K. Microgeneration of electricity using a solar photovoltaic system in Ireland. **Energies,** v. 12, n. 23, p. 1-26, 2019. Disponível em: *https://www.researchgate.net/publication/337717261_Microgeneration_of_Electricity_Using_a_Solar_Photovoltaic_System_in_Ireland/fulltext/5de7a7a6a6fdcc283704c28c/Microgeneration-of-Electricity-Using-a-Solar-Photovoltaic-System-in-Ireland.pdf*

WINFIELD, M.; SHOKRZADEH, S.; JONES, A. Energy policy regime change and advanced energy storage: A comparative analysis. **Energy Policy**, v. 115, p. 572-583, 2018. Disponível em: *https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421518300375*

WORLD ECONOMIC FORUM – WEF. **Fostering effective energy transition 2021 edition**. 2021. Disponível em: *http://www3.weforum.org/docs/WEF_Fostering_Effective_Energy_Transition_2021.pdf* Acesso em: 19 jul. 2021.

WORLD ENERGY COUNCIL – WEC. **Energy trilemma index 2013**. Disponível em: *https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/2013-Energy-Sustainability-Index-VOL-2.pdf*. Acesso em: 19 jul. 2021.

YUEHONG, Lu; ZAFAR, A. Khan; MANUEL, S. Alvarez-Alvarado; YANG, Zhang; ZHIJIA, Huang; MUHAMMAD, Imran. A Critical review of sustainable energy policies for the promotion of renewable energy sources, sustainability, MDPI, **Open Access Journal**, v. 12, n. 12, p. 1-31, 2020. Disponível em: *https://doi.org/10.3390/su12125078*.

ZENG, B; SUN, B; UM, H; WANG, Y; WEI, X; WANG, L. Comprehensive benefit/cost analysis of utilizing pev parking lots as virtualenergy storage for the energy supply sustainability of future distribution systems. **Front. Energy Res**, v. 9, n. 686890, 2021. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/351669830_Comprehensive_BenefitCost_Analysis_of_Utilizing_PEV_Parking_Lots_as_Virtual_Energy_Storage_for_the_Energy_Supply_Sustainability_of_Future_Distribution_Systems/fulltext/60a5a98ca6fdcc3f30ef505c/Comprehensive-Benefit-Cost-Analysis-of-Utilizing-PEV-Parking-Lots-as-Virtual-Energy-Storage-for-the-Energy-Supply-Sustainability-of-Future-Distribution-Systems.pdf

ZIEBELL, A. C.; SINGH, V. K. Energy indicator in sustainable urban energy metabolism and challenges. **Proceedings of Institution of Civil Engineers: Energy**, v. 171, n. 1, p. 26-31, 2018. Disponível em: *https://www.icevirtuallibrary.com/doi/pdf/10.1680/jener.17.00010*

ZILLI, B.M. *et al.* Performance and effect of water-cooling on a microgeneration system of photovoltaic solar energy in Paraná Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 192, p. 477-485, 2018. Disponível em: *https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.241*

ZHU, X. *et al.* Energy planning for an eco-city based on a distributed energy network. **Energy, Sustainability and Society**, v. 11, n. 8, 2021. Disponível em: *https://doi.org/10.1186/s13705-021-00285-6*

Siglas e abreviaturas encontradas nesta publicação

ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica
BID | Banco Interamericano de Desenvolvimento
CGEE | Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
ER | Energia Renovável
FIT | *feed-in*
GEC/PEC | Gestão/Planejamento Energético Comunitário
GEF | Fundo Global para o Meio Ambiente
GEM | Gestão Energética Municipal
GEU | Governança Energética Urbana
GoVEC | Governança Energética Comunitária
IoT | Internet das Coisas
IPCC | Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
LEAP | *Low Emission Analysis Platform*
MCTI | Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação
MMGD | Micro e Minigeração Distribuídas
ODS | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OICS | Observatório de Inovações para Cidades Sustentáveis
PDE | Plano Decenal de Expansão de Energia
PED | Planejamento Energético Descentralizado
PEL/PELA | Planejamento Energético Local/Local Avançado
PEM | Planejamento Energético Municipal
PEU | Planejamento Energético Urbano
ProGD | Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
PSS | Sistemas Produto+Serviço
RBS | Revisão Bibliográfica Sistemática
SEI | *Stockholm Environment Institute*
UEU | Uso da Energia Urbana
UFPR | Universidade Federal do Paraná