

# Uso Sustentável da Infraestrutura de Energia nas Cidades e Transição Energética

## RESUMO EXECUTIVO





## INFORMAÇÕES LEGAIS

1. Todas as indicações, dados e resultados deste estudo foram compilados e cuidadosamente revisados por seus autores e suas autoras. No entanto, erros com relação ao conteúdo não podem ser evitados. Conseqüentemente, nem a GIZ ou o(s) autor(es) podem ser responsabilizados por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo direto ou indireto resultante do uso ou confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo, ou direta ou indiretamente resultante dos erros, imprecisões ou omissões de informações neste estudo.

2. A duplicação ou reprodução de todo ou partes do estudo (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que a GIZ seja citada como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes deste estudo, é necessário o consentimento escrito da GIZ.

**Novembro de 2023**

## ELABORADO POR

Arq. Rosane Fukuoka  
Arq. Juliana Benévolo  
Arq. Laisa Brianti  
Arq. Victor Alves  
Eng. Hamilton Ortiz  
Eng. Marcelo Dias  
Eng. Sebastian Chaves  
Eng. Alexandre Schinazi  
Eng. Pedro Gomes

Eng. Rafael Katsurayama  
Eng. Júlia Alves  
Econ. Guilherme Dantas  
Eng. Marcos Izumida  
Eng. Reinaldo Bizerril  
Eng. Rodrigo Kraemer

**mitsidi**

**Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH**

**Empresa de  
Pesquisa Energética  
(EPE)**

COORDENAÇÃO EUROCLIMA+  
Bernhard Zymła

COORDENAÇÃO  
Gustavo Naciff de Andrade

COORDENAÇÃO TÉCNICA  
Ernesto Feilbogen

EQUIPE TÉCNICA DE APOIO  
Natália Gonçalves de Moraes  
Flávio Raposo de Almeida

COORDENAÇÃO BRASIL  
Gustavo Oliveira

EQUIPE TÉCNICA DE APOIO  
Santiago Mata Chávez  
Rabea Schmecht

REVISÃO E EDIÇÃO  
Andréa Mesquita

DIAGRAMAÇÃO  
Rafael Secim

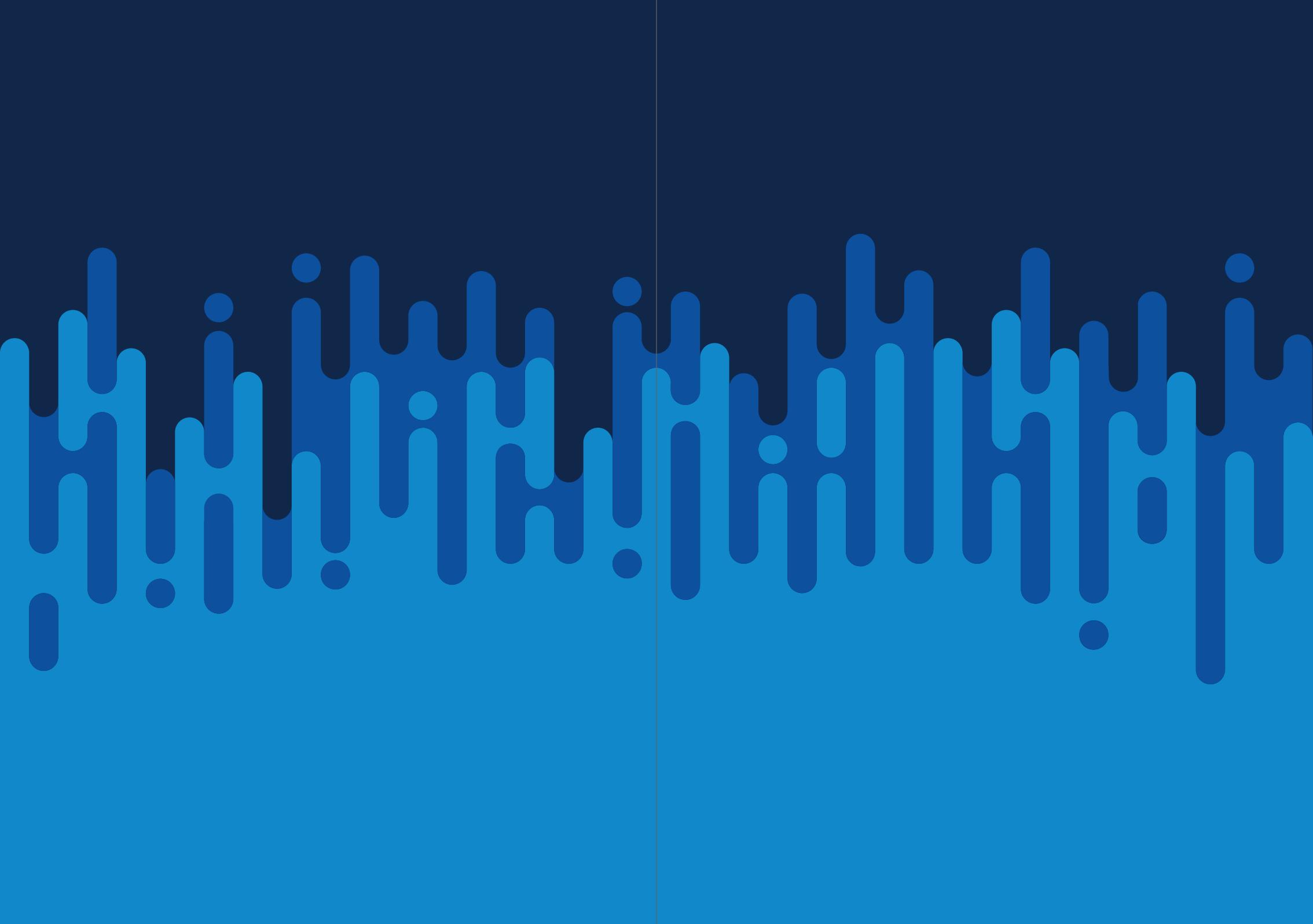
**LINS**

REVISÃO EM  
LINGUAGEM INCLUSIVA E  
NÃO SEXISTA



# SUMÁRIO

<b>O projeto</b>	<b>9</b>
<b>Transição energética</b>	<b>10</b>
1. Geração solar / Geração Distribuída / Geração Centralizada	11
2. <i>Smart Grid / Smart Cities</i>	12
3. Eficiência Energética em Edificações	12
4. Iluminação pública	13
5. Acessórios de Geração Distribuída, Armazenamento e Sistemas Isolados	13
6. Resposta à demanda, Microrredes, Usinas Virtuais e demais tecnologias de Digitalização	14
7. Aproveitamento energético da biomassa	14
<b>Modelos de negócio</b>	<b>15</b>
8. Geração Solar: <i>Solar as a Service</i>	23
9. Acessórios de geração distribuída: Inversor Híbrido para Sistemas Isolados	26
10. Eficiência energética em edificações: PROBEN	28
11. <i>Smart Cities</i>	31
12. Microrredes	34
13. Iluminação pública	36
14. Aproveitamento energético da biomassa	39
<b>Considerações e Conclusões</b>	<b>43</b>
<b>Referências</b>	<b>45</b>





## O PROJETO

O projeto **“Uso Sustentável da Infraestrutura Energética nas Cidades e Transição Energética”** foi desenvolvido pela Mitsidi para a *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH* e para a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), no âmbito do Programa de cooperação regional EUROCLIMA+ (EC+), financiado pela União Europeia e co-implementado por sete agências, dentre elas, a GIZ. O EC+ tem por objetivo promover o desenvolvimento ambientalmente sustentável e resiliente na América Latina.

No Brasil, uma das ações selecionadas para receber assistência técnica do EC+ foi este projeto, cujo objetivo é **identificar modelos de negócios de energia sustentáveis e inclusivos para promover a transição energética em cidades brasileiras, levando em conta a contribuição da digitalização.**

O projeto tem por objetivos principais:

- Desenvolver um estudo de **Benchmarking** (avaliação comparativa), ao nível nacional e internacional, que permite coletar práticas que se tornaram casos de sucesso do uso da digitalização no contexto da transição energética nas cidades.
- Validar a aplicabilidade dos modelos identificados ao contexto brasileiro, identificando as necessidades de adaptação, se necessário.
- Elaborar um *ranking* de modelos de negócios para incentivar padrões inclusivos, eficientes e sustentáveis de uso e consumo de energia nas cidades do Brasil.

Este documento apresenta um resumo do projeto realizado, contextualizando e exemplificando a importância da digitalização e novas tecnologias nas cidades, assim como possíveis desafios de sua aplicação no contexto da transição energética. Espera-se que esse material contribua para o debate e maior compreensão dos municípios sobre o tema e sua importância.

# TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

A transição energética é entendida como a mudança de um sistema energético de produção e consumo, baseado em fontes de energia fóssil, como petróleo, gás natural e carvão, para um sistema com base em fontes renováveis, como a energia eólica e a energia solar.

Essa transformação busca maior sustentabilidade energética, o que significa poder atender às nossas necessidades atuais sem comprometer as necessidades futuras. Essa mudança envolve duas dimensões, como a geração e o consumo de energia. Assim, originalmente, os primeiros esforços para alcançar maior sustentabilidade energética enfatizaram medidas para favorecer a geração de eletricidade a partir de fontes renováveis de energia, bem como a melhoria da eficiência energética nos centros de consumo.

Ao longo da história recente, várias transições energéticas foram vivenciadas, sendo que a primeira ocorreu quando o carvão substituiu a madeira como principal combustível (1830-1950); a segunda, com o desenvolvimento de derivados de petróleo (1950-1980); e a terceira, quando o gás natural se tornou um combustível de alta demanda (1980-2020). Embora essas transições tenham sido motivadas por razões de desenvolvimento econômico, intimamente ligadas ao acesso e consumo de energia, a transição atual é orientada principalmente por razões de sustentabilidade.

O conceito de sustentabilidade energética inicialmente abordava a necessidade de cuidar da disponibilidade de energia para as gerações futuras e mais tarde foi combinado com a ambição de avançar para uma economia de baixo carbono para combater os efeitos das mudanças climáticas, por meio da mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

A história não termina aí, porque a experiência nos processos de transição energética tem mostrado que estes processos são muito complexos e precisam de ser devidamente planejados para enfrentar riscos significativos associados a essa mudança e, também, para poder aproveitar as oportunidades que surgem.

Nesse sentido, o Fórum Econômico Mundial define uma transição energética efetiva como uma transição oportuna para um sistema energético mais sustentável, acessível e seguro que forneça soluções para os desafios

globais relacionados à energia, criando valor para as empresas e a sociedade, sem comprometer o equilíbrio entre segurança e acesso à energia, desenvolvimento e crescimento econômico, e sustentabilidade ambiental.

Em outras palavras, ainda que a atual transição energética seja aparentemente impulsionada por motivações de sustentabilidade ambiental (principalmente as mudanças climáticas), seu sucesso dependerá de abordar simultaneamente a segurança e o acesso à energia e facilitar o crescimento e o desenvolvimento econômicos. Com essa definição mais abrangente, fica claro que o objetivo é descartar a afirmação errônea que considera ser a transição energética uma ameaça à economia, ao crescimento e ao desenvolvimento, ao mesmo tempo em que oferece oportunidades para abordá-la e orientá-la em direção a metas ligadas à sustentabilidade.

Para isso, existem diversos temas que podem ser considerados. A seguir, são apresentados alguns exemplos, considerando o escopo deste projeto:

1

## Geração solar / Geração Distribuída / Geração Centralizada

Um dos principais aspectos quando se fala em transição energética é a **mudança da geração de energia de fontes fósseis, como o carvão, gás e petróleo, por fontes consideradas limpas, como a energia solar, por exemplo.**

A **geração centralizada** é a produção de energia em grandes usinas, em locais estratégicos, que depois é distribuída por meio de linhas de transmissão para os/as consumidores/as, nas quais podem ser otimizadas para obter o máximo rendimento, sendo mais adequadas para áreas com alta irradiação solar.

Por outro lado, a **geração distribuída** se caracteriza por ter várias unidades geradoras de menor porte para abastecer a rede. Dessa forma, essas pequenas unidades geradoras abastecem clientes locais, minimizando os custos com a transmissão da energia, além de evitar perdas energéticas, como as que ocorrem no modelo de geração centralizada (Canal Solar, 2021).

2

## Smart Grid / Smart Cities

As **redes inteligentes**, *smart grids*, são redes elétricas que integram, de forma inteligente e dinâmica, ações de todos os/as usuários/as conectados/as a elas, como os geradores de energia, os/as que a consomem e até mesmo os/as que fazem ambos; com o intuito de fornecer eletricidade de forma eficiente, sustentável, econômica e segura.

Já o conceito de **cidades inteligentes** (*smart cities*) relaciona sistemas e pessoas interagindo e usando energia, materiais, serviços para catalisar o desenvolvimento econômico e a melhoria da qualidade de vida, a nível urbano (IEA,2022) (Neoenergia, 2023).

3

## Eficiência Energética em Edificações

A eficiência no uso de energia nas edificações pode ser alcançada por meio de técnicas de projeto e construção, como estratégias de iluminação e ventilação natural, e instalação de equipamentos eficientes. Assim, eficiência energética se define como o uso racional e otimizado de energia elétrica para iluminar, aquecer e conectar equipamentos.



4

## Iluminação pública

A iluminação pública é considerada um sistema que visa fornecer luz nas ruas, praças, túneis e outros espaços públicos, com o intuito de melhorar a segurança, mobilidade e conforto da população.

O serviço eficiente integra a gestão municipal, sendo fundamental para a mobilidade urbana e o desenvolvimento sustentável das cidades.

5

## Acessórios de Geração Distribuída, Armazenamento e Sistemas Isolados

Assim como já mencionado, a geração distribuída de energia elétrica é realizada junto ou próxima do consumidor, independentemente da potência, tecnologia e fonte de energia utilizada. Seu processo pode incluir etapas de cogeração, e/ou acessórios como geradores, painéis fotovoltaicos e até pequenas centrais hidrelétricas - PCHs.

O armazenamento de energia flexibiliza a produção de energia renovável e garante sua integração no sistema.

Já os **sistemas isolados** de energia elétrica são empreendimentos autônomos em que a carga está conectada à geração, sem a necessidade de conexão à malha interligada de transmissão da concessionária de energia.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE)<sup>1</sup>, no Brasil, existem cerca de 200 localidades isoladas no Brasil, a maioria na região Norte.

<sup>1</sup> Sistemas Isolados [<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/sistemas-isolados#:~:text=Denomina%2Dse%20Sistema%20isolado%20o,maior%20parte%20na%20regi%C3%A3o%20Norte>].

## Resposta à demanda, Microrredes, Usinas Virtuais e demais tecnologias de Digitalização

A digitalização da rede elétrica engloba a implementação de diversas tecnologias avançadas de automação e controle, como usinas de geração, medidores e sensores etc. A **resposta da demanda de energia**, por exemplo, corresponde a um programa estrutural que permite solicitar ofertas de redução de consumo de energia elétrica por consumidores/as livres, como recurso alternativo para que o Sistema Interligado Nacional (SIN) possa atender à exigência de abastecimento.

As **microrredes** são caracterizadas como sistemas de distribuição de energia de pequeno porte que contêm cargas e recursos compar-

tilhados, que podem ser operados de forma controlada e coordenada quando conectados à rede de energia principal ou isolada.

**Usinas virtuais** é o conjunto de várias tecnologias de energia de pequeno porte (ex.: energia solar, baterias etc.) instaladas em diferentes locais, mas conectadas por uma única plataforma virtual. Elas trabalham como uma plataforma de gerenciamento para a rede, agindo de modo coordenado e otimizado em relação ao despacho de energia, geração, consumo e armazenamento.

abastecimento de veículos e fornecimento de calor em processos industriais. Ressalta-se o potencial da biomassa composta por resíduos de madeira, animais e plantas.

## Aproveitamento energético da biomassa

A **biomassa** é utilização de resíduos orgânicos para atender uma gama de necessidades de energia, incluindo geração de eletricidade, aquecimento de residências,

# MODELOS DE NEGÓCIO

Para atuação nesses diferentes temas, existem diversos **modelos de negócio** que podem ser aplicados. Esse projeto focou em:

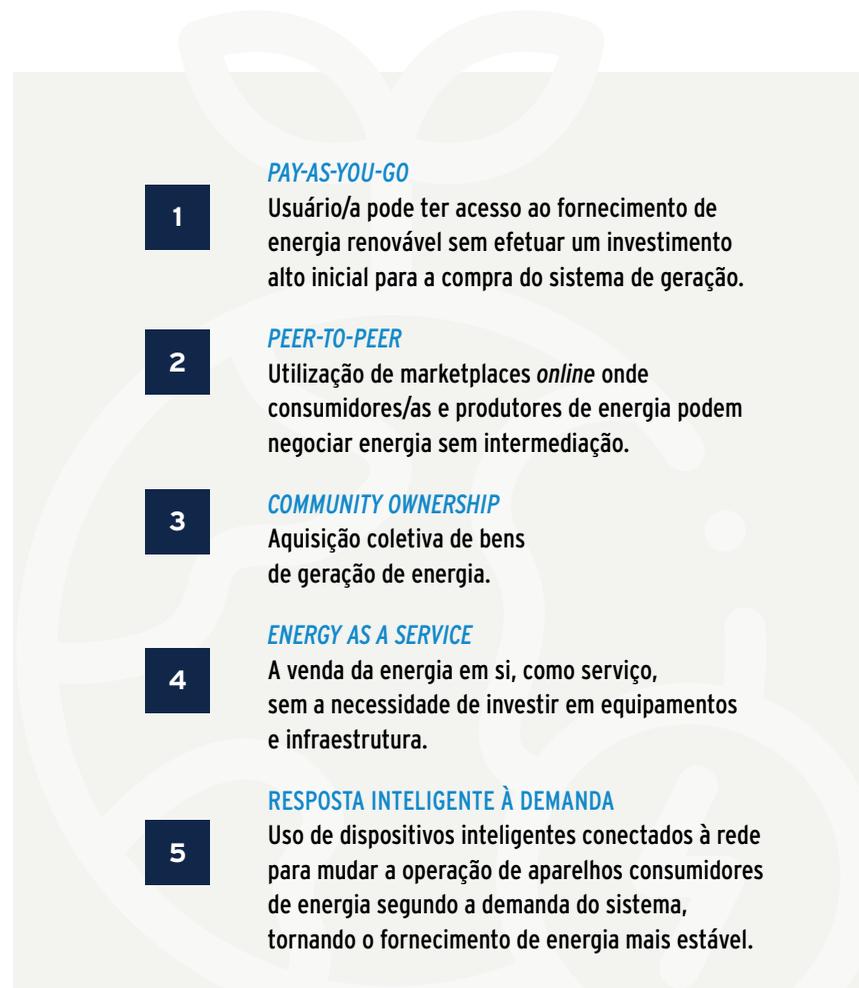


Figura 1: Modelos de negócios considerados no projeto.  
Fonte: elaboração própria.

Para ilustrar os modelos de negócio e deixar mais tangível e didático para as cidades, foram elencados **cases**. A seleção foi realizada baseando-se em quatro critérios utilizados pelo programa de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), apresentados na Figura 2:

APLICABILIDADE	RELEVÂNCIA	RAZOABILIDADE DE CUSTOS	MATURIDADE TECNOLÓGICA
Mensura o potencial de replicabilidade do modelo de negócio, a diversos municípios, no contexto brasileiro. Para além da abrangência territorial, este critério também analisa o potencial de aplicação a diferentes segmentos como residencial, comercial ou industrial.	Utilizado para mensurar a importância dos resultados do projeto, incluindo impactos econômicos, sociais e ambientais.	Avalia o porte do investimento inicial e potenciais de retorno. Analisa a fonte de investimento, dando prioridade à iniciativa privada arcar com todos os custos sem ajuda do governo. O modelo econômico-financeiro consolida o plano de negócio no mercado.	Indica o quanto a tecnologia já está desenvolvida e sendo aplicada no mundo. Tecnologias consolidadas apresentam pontuação maior.

Figura 2: Critérios utilizados para a seleção dos cases. Fonte: elaboração própria.

Para a identificação dos estudos, foi realizada uma pesquisa em **sites** das empresas do setor, artigos acadêmicos, **sites** institucionais, entre outras fontes. Por conseguinte, também foi feito contato com diversos atores relevantes para obtenção de informações, além da realização de entrevistas com determinadas instituições relacionadas aos modelos de negócio mapeados. A seleção inicial resultou na identificação de **30 estudos de caso**<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Enie Solar as a Service; CreLuz Cooperativa; Inversor híbrido para sistemas isolados ENEL CE; Gestão Estadual Eficiente estado do AM; PROBEN UFPEL; Wholesale Power Purchase Agreement United Kingdom; Solar Zero New Zealand; Urban Futurability; Bboxx; Usina Megawatt Solar CGT Eletrosul; Revolusolar; Sistema Híbrido Isolado COPEL; Gridwiz; Programa Techos Solares Públicos Chile; Durban's Energy Office Solar Project; Baobab+; Microrredes Inteligentes AES Brasil; Engie Energy Access; Ogarniampgrad.pl Peer to peer; Microrrede Inteligente - condomínio residencial Enel Ceara; BHIP - PPP Iluminação Pública; Virtual Power Plant para prosumidores; Inovgrid EDP; Isernia Smart Grid Project; Eletroposto CELESC; Brooklyn Microgrid; Programa de eficiência da iluminação pública de Cuiabá (MT); Geração de energia solar on-site para empresas do Reino Unido; Produção e uso de biometano na ETE Franca da Sabesp; Tratamento de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento Energético de Biogás.

Após a identificação dos 30 estudos de caso, estes foram analisados segundo os quatro critérios supracitados visando elaborar um *ranking* geral e selecionar um estudo para cada um dos sete temas. Para essa análise, foram estabelecidos subcritérios dentre cada um dos quatro critérios, a fim de torná-los mais palpáveis e facilitar a avaliação por atribuição de nota. Na Figura 3, são apresentados os critérios e seus respectivos subcritérios:

CRITÉRIOS DE SELEÇÃO			
APLICABILIDADE	RELEVÂNCIA	RAZOABILIDADE DE CUSTOS	MATURIDADE TECNOLÓGICA
Abrangência	Impactos econômicos	Investimento privado	Modelos de negócio similares operantes
Segmento	Impactos sociais	Porte de investimento inicial	
	Impactos ambientais	Modelo econômico-financeiro	

Figura 3: Critérios de seleção e ranqueamento dos modelos de negócio. Mais informações sobre os critérios estão disponíveis nos produtos dos projetos. Fonte: elaboração própria.



A seguir é apresentada a nota de cada estudo de caso para cada um dos critérios.

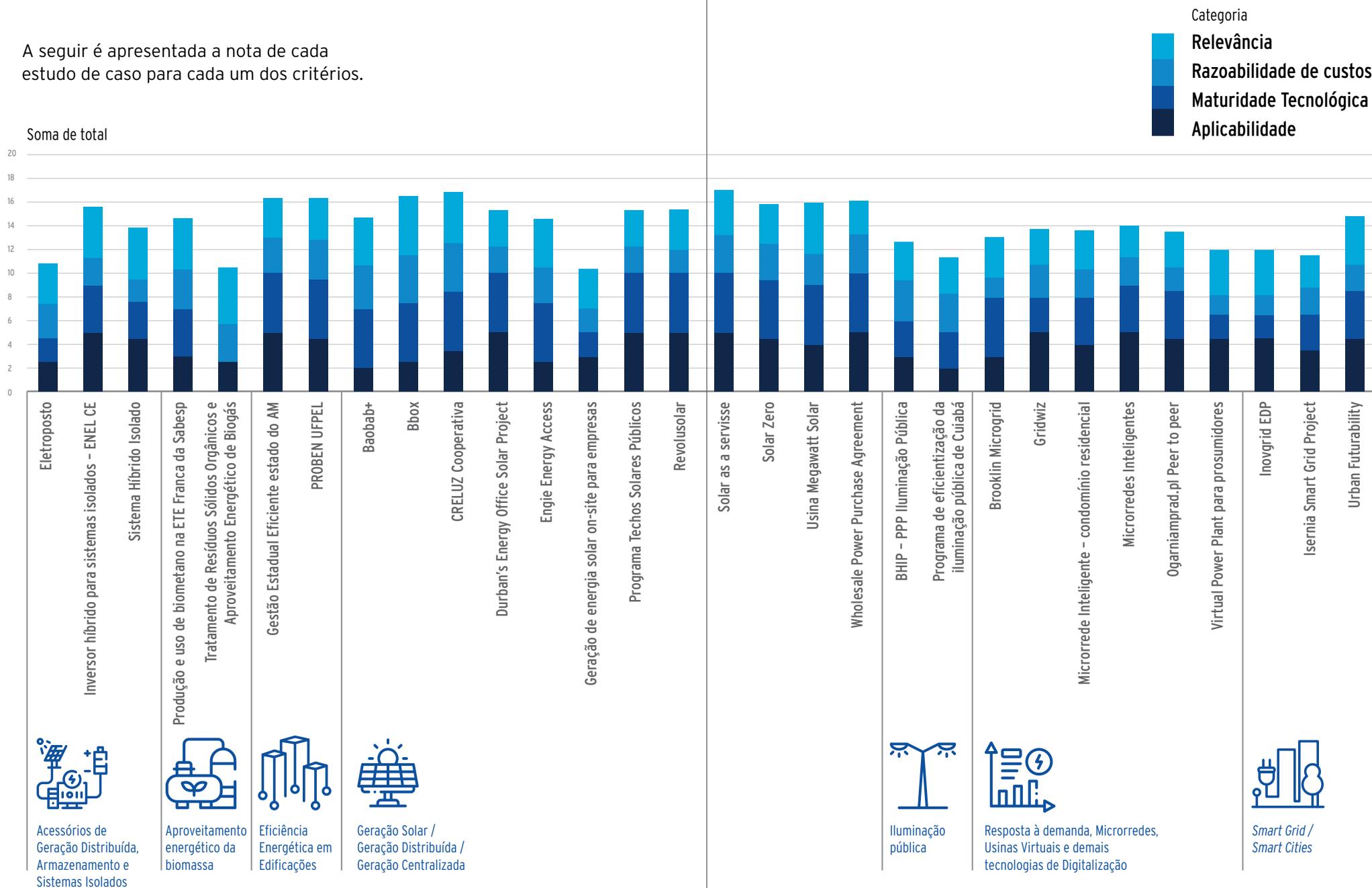


Figura 4: Pontuação de cada modelo de negócio em cada critério avaliado.

Fonte: elaboração própria.

A Figura 5 lista os modelos de negócios selecionados em cada uma das sete categorias e suas principais informações:



Figura 5: Cases selecionados para cada um dos sete temas. Fonte: elaboração própria.

Para compreender melhor os **cases**, foi estabelecida a Análise PASTEL, anacrônico para aspectos Políticos, Ambientais, Sociais, Tecnológicos, Econômicos e Legais - uma metodologia que auxilia na avaliação dos fatores externos que podem influenciar significativamente seu desempenho.

Na Figura 6, estão elencados quais itens compõem cada um desses fatores:

#### AMBIENTAIS

- Impacto no consumo de energia
- Impacto na emissão de GEE
- Descarte de resíduos
- Impacto na poluição do solo, rios e mares

#### TECNOLÓGICOS

- Aplicação de tecnologia pioneira no Brasil
- Desenvolvimento de soluções inovadoras
- Desenvolvimento tecnológico associado a pesquisas da Academia

#### LEGAIS

- Impacto na legislação vigente

#### POLÍTICOS

- Possibilidade de criação de novos programas / políticas governamentais
- Relação setor público / privado
- Participação ativa dos municípios

#### SOCIAIS

- Aprimoramento da infraestrutura das cidades
- Acesso à energia ao nível municipal
- Oferecimento de capacitações

#### ECONÔMICOS

- Impacto na redução das desigualdades sociais
- Ascensão econômica da população de baixa renda
- Geração de empregos
- Custos para o governo
- ETC

Figura 6: Aspectos da PASTEL considerados na análise. Fonte: elaboração própria.

A seguir são apresentados os cases elencados, com as informações decorrentes da PASTEL:

## CASE

### GERAÇÃO SOLAR | GERAÇÃO DISTRIBUÍDA GERAÇÃO CENTRALIZADA

## Solar as a service

Enie - Holanda e África do Sul

### Resumo

Modelo “*pay as you go*”: quem consome não precisa fazer grandes investimentos iniciais, ampliando, desta forma, a geração de energia solar no geral.

### Aplicabilidade

Pode ser aplicado a cidades, como em moradias ou edificações públicas de pequena ou grande escala.

### Relevância

- Impactos sociais positivos.
- Impactos econômicos positivos.

### Razoabilidade de custos

- Não demanda a realização de grandes investimentos iniciais
- Pode ser implementado integralmente com capital da iniciativa privada.

### Maturidade tecnológica

Modelo de negócio já aplicado em países desenvolvidos, como nos Estados Unidos e na Holanda. Também aplicado em países em desenvolvimento, como África do Sul.

O projeto, viabilizado pela Enie, forneceu painéis fotovoltaicos, assim como toda estrutura necessária (inversores, medidores bidirecionais, entre outros equipamentos) para a **geração de energia em edificações de tipologias diversas em um esquema de aluguel**. Nesse modelo, é estabelecido um contrato de 10 anos, no qual o/a consumidor/a se compromete a comprar a energia gerada durante esse período, podendo ficar com os equipamentos depois (Hamwi, Lizarralde, 2018), os quais ainda devem gerar energia por mais 20 anos, considerando o tempo de vida útil médio de painéis solares.

Inicialmente o **case** foi aplicado na Holanda e África do Sul, em edificações residenciais e públicas. Logo, **adapta-se à pequena ou grande escala, em qualquer região do Brasil, beneficiando diversos segmentos**. Possibilita, em média, 15% de economia no valor da conta de energia (Hamwi, Lizarralde, 2018). Como o modelo de negócios não exige investimentos iniciais altos, é possível impactar positivamente a população de baixa renda. No Brasil, empresas como a Wise e a Solar 21 já operam sobre esse modelo.

Quanto aos benefícios, esse modelo é extremamente **versátil e flexível**, podendo ser utilizado tanto em residências, como em médios e grandes consumidores. Segundo Potisat *et. al.* (2017), para usuários/as residenciais, há a vantagem de não ser necessário arcar com os custos iniciais, enquanto para usuários comerciais, públicos ou industriais, não há os riscos envolvidos com a operação de um sistema mais robusto. Além disso, **o preço de venda da energia é pré-fixado** em contrato, protegendo de eventuais aumentos de preço de energia elétrica quem a consome, o que agrega também segurança.

O Brasil possui grande disponibilidade de energia solar, porém, historicamente, apresenta problemas de escassez de crédito e altas taxas de juros no mercado privado. Do ponto de vista do/da consumidor/a, altas taxas de juros, mesmo em linhas de crédito específicas para investimentos em energia solar, fazem com que **o modelo Solar as a Service seja mais competitivo**. Nesse caso, esse modelo permite que seja feito **o aluguel dos kits de painéis fotovoltaicos, havendo pagamento apenas pela energia gerada**. Para que o serviço se torne atrativo para consumidores e consumidoras, o preço pago pelo fornecimento de energia deve ser, ao menos, ligeiramente menor do que o preço que se

paga pelo seu fornecimento convencional de energia (Overholm, 2015b). Os altos encargos incidentes sobre a energia no Brasil, aliado ao fato da possibilidade de se obter créditos pelo excedente de energia gerada, configuram um incentivo para a ampliação desse modelo de negócios.

No entanto, existem barreiras regulatórias significativas, que podem impactar nesse modelo de negócio. A empresa neerlandesa Enie precisou enfrentar uma batalha judicial para que pudesse se beneficiar das tarifas de venda de energia, que incentivam os/as consumidores/as a investir em energia solar nos Países Baixos (Hamwi, Lizarralde, 2018). Além disso, Overholm (2015) ressalta que **o acesso a financiamento também é uma barreira considerável**, tanto pelo volume de recursos necessários quanto pela falta de conhecimento dos financiadores a respeito do modelo. O enquadramento específico da empresa também é um problema regulatório relevante, uma vez que a classificação da empresa como “fornecedora de energia elétrica” (*electric utility*) pode restringir severamente o mercado potencial.

**O investimento inicial desse tipo de modelo é uma barreira considerável**, uma vez que é relativamente alto e o tempo de *payback* elevado. No caso da empresa Enie.nl, o investimento inicial foi feito por meio de uma empresa criada para este fim, denominada “Solar Shift”, uma subsidiária que captou investimentos no mercado e possuía 50% da Enie em 2018 (Hamwi, Lizarralde, 2018).

**Incentivos do poder público**, nos Estados Unidos, auxiliaram na viabilidade desse tipo de modelo de negócio, destacando-se um mecanismo como Crédito de Impostos por investimento em renováveis (*Investment Tax Credits*), que oferecia até 30% do investimento em créditos tributários gerados para investimentos em energias renováveis. Nos últimos anos, a notável queda nos preços de geradores fotovoltaicos também foi benéfica aos modelos de negócio *Solar as a Service*, tornando mais atrativos os investimentos. A viabilidade econômica de implementação desses modelos, do ponto de vista de análise de investimentos, depende principalmente do preço da energia na região e, também, do custo do investimento nos *kits* de geração de energia solar.

## CASE

### ACESSÓRIOS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, ARMAZENAMENTO E SISTEMAS ISOLADOS

# Inversor Híbrido para Sistemas Isolados

Enel - CE - Brasil

9

## Objetivos

- Desenvolvimento nacional de um inversor híbrido, a um baixo custo, para prover energia a comunidades isoladas e remotas dentro da área de atuação da concessionária de energia.
- Promover capacitação local, gerando empregos durante e após a instalação dos sistemas.

## Aplicabilidade

Aplicável em todos os segmentos e vários tipos de municípios e comunidades.

## Relevância

- Aumento da qualidade de vida, diminuição da desigualdade social e desemprego.
- Impactos econômicos significativos.
- Redução de emissões e de riscos ambientais.

## Razoabilidade de custos

- Recursos de P&D ANEEL, EMBRAPPII e Lei da Informática.
- Porte do investimento inicial: milhões de reais.

## Maturidade tecnológica

Modelos de negócio amplamente aplicados em países desenvolvidos e em alguns países em desenvolvimento, ou com alguma aplicabilidade no Brasil.

O projeto de P&D<sup>3</sup>, submetido pela ENEL-CE em parceria com a Fundação Certi, UFSC e Reivax S/A Automação e Controle, objetivou o desenvolvimento de um **inversor híbrido<sup>4</sup> que integra geração solar com armazenamento de energia na forma de baterias**. O sistema de pequeno porte é capaz de operar conectado à rede elétrica ou independente dela, pode realizar a gestão de cargas da instalação por meio de saídas auxiliares e ser monitorado e comandado em aplicativos de celular desenvolvidos pelo projeto. O produto possibilita o **fornecimento de energia em comunidades isoladas e remotas**, como as localizadas no norte do estado de Goiás, que seriam atendidas pelo projeto.

Como benefícios, o case possibilita **economia, conforto e flexibilidade** ao usuário, que pode avaliar e agir sobre o seu consumo e geração de energia em tempo real. Considerando o potencial de aplicação em sistemas isolados, o produto do projeto impacta de forma positiva também na segurança e qualidade de vida de usuários finais e comunidades onde o sistema possa ser aplicado, já que oferece uma alternativa a fontes poluentes, ao mesmo tempo que melhora a confiabilidade e qualidade de energia. Já para o setor elétrico, o produto permite não só mitigar o impacto da microgeração na rede, mas inclusive dar suporte à rede em cenários futuros de resposta à demanda<sup>5</sup>, por permitir a redução de cargas e/ou injeção de energia na rede.

O modelo consegue se manter sem financiamento público, inclusive com a publicação da Portaria do INMETRO N.140/2022, que regulamenta o uso de inversores híbridos no Brasil, a qual não existia até o final do projeto (2020). Considerando o cenário de aplicação do produto em sistemas isolados, sem acesso à rede elétrica, os ganhos econômicos do projeto decorrem da postergação de investimentos na expansão do sistema elétrico, que hoje é demanda de empresa do próprio grupo ENEL e outras no Brasil, ao mesmo tempo que permite o monitoramento desses ativos operando em áreas remotas.

<sup>3</sup> Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)

<sup>4</sup> O inversor solar é um dispositivo utilizado para converter a energia elétrica gerada pelos painéis fotovoltaicos - que operam em corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA) - à corrente utilizada pelos aparelhos consumidores de energia de uma residência. O inversor híbrido pode operar tanto conectado à rede elétrica quanto isolado dela.

<sup>5</sup> Resposta à demanda é um mecanismo que possibilita maior gerenciamento sobre o uso de energia elétrica por quem a consome, em resposta às condições de oferta e aos comandos operacionais do sistema via pagamentos (EPE, 2019).

## Programa de Bom Uso Energético (PROBEN)

UFPEL - Pelotas, RS - Brasil

### Resumo

Realização de diagnóstico energético e medidas de eficiência energética para reduzir o consumo energético da UFPEL.

### Aplicabilidade

O diagnóstico energético tem abrangência total, mas o diagnóstico de funcionamento de motores elétricos e correção de fator de potência não são aplicáveis para qualquer edificação pública.

### Relevância

- Sem impactos sociais identificáveis.
- Impactos econômicos dependem das medidas identificadas.
- Impactos ambientais positivos.

### Razoabilidade de custos

- Investimento 100% público, com recursos da Universidade.
- Custo relativamente baixo, podendo trazer retornos significativos.

### Maturidade tecnológica

Modelo completamente desenvolvido, não representa uma inovação. É consolidado e funciona.

O Programa tinha por objetivo realizar um diagnóstico energético em um edifício da Universidade de Pelotas-RS para identificar as maiores fontes de consumo de energia elétrica e implementar, posteriormente, medidas de eficiência energética e redução de custo para reduzir o consumo de energia e despesas da Universidade. Além do diagnóstico, foram desenvolvidos softwares para gestão de contratos de energia e monitoramento de consumo de energia. O programa tem foco em ações de baixo investimento e alto retorno, que estão descritas em cartilhas da Eletrobras e do PROCEL.

Tanto a realização do diagnóstico energético quanto a análise de contratos de energia e a implementação de medidas de eficiência energética e redução de custo podem ser executados em qualquer tipo de edificação em qualquer localidade. Algumas das medidas adotadas no âmbito deste projeto foram:

- Eficientização do sistema de iluminação, por meio de substituição de lâmpadas;
- Melhoria da eficiência do sistema de ar-condicionado, através de orientação para aquisição de equipamentos com selo PROCEL;
- Orientação na elaboração de novos projetos e reformas;
- Elaboração de diretrizes para a aquisição de motores, equipamentos de iluminação e de ar-condicionado.

Todas essas ações são essencialmente administrativas e de gestão, sendo plenamente possível a aplicação em qualquer setor da economia, comercial ou industrial e, também, público, como o próprio PROBEN. Para instituições sem um corpo técnico, o PROBEN realiza convênios (por exemplo, com o Ministério de Minas e Energia para *retrofit* do Bloco B da Esplanada dos Ministérios). É importante destacar que o programa poderia ser replicado em outras universidades federais brasileiras, que já contam com corpo técnico adequado, e esta capacitação do corpo técnico pode ser aproveitada por todo o poder público, para a implementação de projetos de eficiência energética em edificações.

As dificuldades citadas relacionadas ao Programa se referem a falta de padronização das faturas de energia elétrica entre concessionárias em diferentes estados do Brasil, uma vez que o *software* de simulação de contratos de energia desenvolvido (SiCE) foi criado para ler a fatura em um arquivo padrão, sem necessidade de *input* do/da usuário/a. Essa falta de padronização significa que o SiCE deve ser adaptado para a necessidade de cada cliente e, também, significa que qualquer mudança no formato da fatura implica na necessidade da atualização da ferramenta. Além disso, pela ausência de medidores digitais, há dificuldade de se identificar as economias de energia referentes a cada departamento da Universidade para que fosse feita a restituição financeira correspondente.

O projeto contabilizou as seguintes economias, entre 2006 e 2022: R\$ 3.410.861,84 pela revisão dos contratos de energia; R\$ 521.052,24 na correção do fator de potência; R\$ 13.200,00 por ano economizados pela melhoria no sistema de iluminação; e R\$ 6.225.677,08 pela mudança na modalidade tarifária para rural. **Todas as ações somadas resultaram numa economia de mais de 10 milhões de reais entre setembro de 2006 e abril de 2022** (UFPEL, s.d.).

Com relação ao investimento, o case foi financiado com recursos públicos provenientes da própria Universidade e recursos do PEE da ANEEL. O investimento inicial mais significativo foi de 5 mil reais, no banco de capacitores. Como o investimento se pagou em dois meses, isso permitiu que o Programa ficasse com os recursos gerados pela economia feita. As intervenções de análise de contratos não precisaram de investimento nenhum, sendo uma medida administrativa colocada em prática pelo próprio pessoal do Programa. O investimento na eficiência do sistema de iluminação, no entanto, não foi feito pela Universidade. Os projetos de *retrofit* do sistema de iluminação foram feitos por bolsistas e o recurso foi obtido no PEE da ANEEL.

CASE  
SMART GRID  
SMART CITIES

## Urban Futurability

Vila Olímpia - São Paulo - Brasil

### Objetivos

- Melhorar a operação da rede de distribuição por meio de tecnologia.
- Disponibilizar dados e informações para gerar soluções inovadoras.
- Realizar a conversão de rede aérea e subterrânea.
- Estruturar um laboratório vivo para teste de novas tecnologias.

### Aplicabilidade

Pode ser aplicado a vários tipos de municípios e as tecnologias replicadas em todos os segmentos.

### Relevância

- Baixo impacto social.
- Impactos econômicos positivos.
- Impacto ambiental altíssimo.

### Razoabilidade de custos

- Recursos de P&D ANEEL.
- Porte do investimento inicial: centenas de milhões de reais para o projeto total.

### Maturidade tecnológica

Modelo de negócio totalmente aderente com as diretrizes nacionais e mundiais para a redução dos GEE e retorno financeiro em médio e longo prazo.

Este case consiste em um **projeto de digitalização do bairro da Vila Olímpia** em São Paulo (SP), incluindo a implantação de mais de 40 iniciativas voltadas para a digitalização do sistema de distribuição de energia elétrica no bairro, como a criação de um gêmeo digital e automação e melhoria da rede elétrica. O **gêmeo digital** é um modelo virtual idêntico à rede de distribuição de energia elétrica aérea e subterrânea do bairro de Vila Olímpia, cujas informações foram utilizadas para criação de métodos preditivos de falhas no modelo real.

Esse bairro foi escolhido por possuir características diversas e diferenciadas de rede de distribuição, desde rede subterrânea de altíssima densidade de potência em avenidas com edifícios abrigando inúmeras unidades consumidoras, chegando até porções de rede aérea em área residencial de baixa densidade, onde estas porções são alimentadas por uma mesma subestação. O modelo é altamente replicável, respeitando as devidas características da rede de distribuição do local. Todas as iniciativas realizadas nesse projeto podem ser replicadas. A digitalização de alguns processos é eficiente e consegue viabilidade financeira em áreas de maior densidade, tais como digitalização de subestações, enterramento de rede e técnicas avançadas de proteção.

Alguns dos benefícios do projeto incluíram melhorias operacionais na rede de distribuição com a inserção de tecnologia; facilidade de acesso a dados e informações para terceiros gerarem soluções inovadoras no setor elétrico; avanços nos aspectos de sustentabilidade, com a conversão da rede aérea e subterrânea; e o desenvolvimento e manutenção de um laboratório vivo para novas tecnologias serem testadas. No entanto, um ponto negativo diz respeito ao alto custo de investimento necessário. O principal público-alvo é a própria distribuidora de energia, uma

vez que as inovações e desenvolvimento do projeto de digitalização trazem ganhos significativos para a operação e manutenção da rede de distribuição. Mas o principal beneficiário dessas inovações trazidas pela digitalização da rede de distribuição são os consumidores e consumidoras da área de abrangência do projeto, pois poderão ter, a partir do projeto, uma rede muito mais robusta.

No caso de Vila Olímpia, foram utilizados recursos do P&D da ANEEL. Os investimentos desse projeto ficaram em torno de 125 milhões de reais, calculados em 2018, para uso durante os 60 meses seguintes (IstoÉ, 2019). Ocorreram alguns auxílios do poder público na liberação de licenças para realização de obras e, também, no apoio institucional em ações voltadas à sustentabilidade da cidade. Em princípio, o modelo de negócios consegue se manter sem financiamento público, pois grande parte das iniciativas possui viabilidade financeira, pois são equipamentos de rede de energia elétrica que favorecem a operação e manutenção dos serviços de fornecimento de energia.



## CASE

RESPOSTA À DEMANDA, MICRORREDES,  
USINAS VIRTUAIS E OUTROS

# Microrredes Inteligentes

AES BRASIL - QUATRO BARRAS - PR, MOGI-GUAÇU - SP, BAURU - SP

12

## Resumo

Plataforma completa de gerenciamento, controle e monitoramento de microrredes (*hardware + software + serviços de implantação*).

## Aplicabilidade

Abrangência total, podendo ser replicada em todos os segmentos.

## Relevância

- Sem impacto social identificável.
- Impacto econômico significativo com custo de implantação alto.
- Não causa impacto ambiental significativo.

## Razoabilidade de custos

- Recursos de P&D ANEEL.
- Investimento inicial na ordem de milhões de reais.

## Maturidade tecnológica

Amplamente aplicado, especialmente em países desenvolvidos, e em alguns países em desenvolvimento, ou com alguma aplicabilidade no Brasil.

O projeto desenvolveu uma **plataforma completa de gerenciamento, controle e monitoramento de microrredes**, isto é, redes locais de distribuição de energia, capazes de operar tanto conectadas à rede de energia central quanto isoladamente (Unicamp, s.d.). O *software* permite o **acompanhamento do consumo e geração de energia**, que pode ser controlado dentro do estabelecimento consumidor. Também foi desenvolvido um dispositivo chamado E+BOX para coletar os dados de consumo de cada cliente e enviar para essa plataforma.

O modelo pode existir em cidades de praticamente qualquer porte, em qualquer zona climática do Brasil, com potencial de beneficiar alguns milhões de pessoas, direta ou indiretamente.

Como benefícios, o produto pode ser aplicado em infraestruturas públicas, visando à automação e análise do perfil de consumo e/ou geração para aplicação de estratégias de eficiência energética. No entanto, o ponto negativo é o alto custo de implantação, o que dificulta a sua replicabilidade, ainda que exista impacto econômico significativo tanto para a distribuidora quanto para quem consome a médio e longo prazo.

Com relação ao financiamento, esse *case* utilizou recursos do P&D da ANEEL considerando *hardware*, *software* e serviços de implantação. Os investimentos iniciais para implementação dos quatro pilares apresentados ficaram em torno de sete milhões de reais. Nesse projeto, não houve nenhum auxílio ou incentivo por parte do poder público diretamente.

## CASE

### ILUMINAÇÃO PÚBLICA

# Parceria Público-Privada de Iluminação Pública

BHIP - Belo Horizonte, MG - Brasil

## Resumo

A troca das lâmpadas de vapor de sódio da cidade de Belo Horizonte por luminárias LED gerando economia de energia e redução da taxa de falhas.

## Aplicabilidade

- Abrangência total, pois o modelo pode existir em cidades de praticamente qualquer porte e zona climática do Brasil.
- Aplica-se ao segmento Público, Residencial e Comercial.

## Relevância

- Impacto social: melhoria na qualidade da iluminação pública.
- Impacto econômico: redução de custos operacionais
- Impacto ambiental médio.

## Razoabilidade de custos

- Investimento inicial de quase R\$ 50 milhões.
- Plano de negócios conhecido no mercado.

## Maturidade tecnológica

Amplamente aplicado mundialmente, especialmente em países desenvolvidos, porém em modelo diferenciado ao do Brasil.

13

A Prefeitura de Belo Horizonte estabeleceu uma **Parceria Público-Privada (PPP)** pelo período de 20 anos para a **concessão do serviço de gestão da infraestrutura de iluminação pública** do município, incluindo manutenção preventiva e corretiva com o requisito principal de troca de todas as luminárias públicas pela tecnologia de LED (*Light-emitting Diode*). O edital de concessão, elaborado pela empresa estatal PBH ativos, em conjunto com o BNDES, em 2016, foi vencido pela empresa BHIP, constituída para esse fim. O período previsto para a modernização do sistema de iluminação foi previsto para 3 anos.

O modelo pode existir em cidades de qualquer porte e zona climática do Brasil, com potencial de beneficiar milhões de pessoas, direta ou indiretamente. Adicionalmente, sua aplicabilidade é amparada pela Lei Federal Nº 13.190/2015, que autoriza a contratação de locação de bens móveis pela administração pública (neste caso, postes de iluminação), tais como luminárias públicas. A ressalva que é feita é que, uma vez que o porte do investimento é relativamente alto, é difícil para municípios pequenos implementarem algo similar. No entanto, existe a possibilidade de se realizar um consórcio de municípios.

A **telegestão**<sup>6</sup> permite o monitoramento remoto do funcionamento da luminária e a detecção de falha remota, assim como a telemedição do consumo de energia de cada unidade. Por meio do uso da mesma estrutura de comunicação utilizada por essa tecnologia também é possível captar dados de volume de tráfego, otimizar semáforos, armazenar dados da cidade e captar informações climáticas das cidades.

<sup>6</sup> Sistema implantado pela concessionária para tráfego de informações, controle e gestão remota das unidades de iluminação pública.

O investimento público inicial foi de aproximadamente 100 milhões de reais, provenientes do Caixa da Contribuição de Iluminação pública (CCIP) que os municípios arrecadam. O valor foi dividido em cinco aportes de R\$ 20 milhões, que foram sendo pagos na medida de aceitação dos marcos. Ao longo dos 20 anos, prevê-se R\$ 1 bilhão de investimento. A modelagem foi em torno de R\$ 1,5 bi, porém, o contrato que venceu a licitação ficou em torno de R\$ 1 bilhão. Houve um aporte inicial da BHIP, que foi recebendo os recursos públicos enquanto os marcos iam sendo concluídos. Foi necessário um financiamento para completar toda a etapa de modernização, e, para isso, a BHIP buscou financiamento no mercado, através do banco ING, posteriormente substituído pelo banco ABC.

Nos primeiros meses da concessão, existe uma necessidade intensa de capital, e, portanto, a concessionária precisa buscar esse capital no mercado, seja via financiamento, emissão de debêntures ou outros meios, uma vez que o aporte é volumoso.

O município já conseguiu reduzir em 10% o valor da CCIP no final de 2021, graças à aplicação do modelo de negócios (Prefeitura de Belo Horizonte, 2021). Além disso, a eficientização da iluminação já reduziu em cerca de R\$ 25 milhões ao ano a conta de luz do município.

## CASE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA BIOMASSA

# Produção e uso de biometano na ETE Franca

Sabesp - Franca, SP - Brasil

### Resumo

Projeto visou a utilização de uma ETE para a geração de energia elétrica fotovoltaica para a geração de biometano e fertilizantes agrícolas.

### Aplicabilidade

- Adequadas especificamente para cidades de médio e grande porte.
- Aplica-se ao segmento Público-Privado, Comercial e Industrial.

### Relevância

- Impactos sociais positivos.
- Impactos econômicos diretos e de curto prazo, reduzindo o custo com combustível.
- Impactos ambientais tendem à nota máxima.

### Razoabilidade de custos

- Projetos da ordem de milhões ou dezenas de milhões de reais.
- 60%-80% de capital externo, mas existem empresas de capital aberto, como a própria Sabesp.

### Maturidade tecnológica

Amplamente aplicado em países mais desenvolvidos, como, por exemplo, Estados Unidos; possui aplicabilidade no Brasil, contudo, com ressalvas.

O projeto visa utilizar a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Franca (SP) para a geração de energia elétrica, fotovoltaica, de biometano (biogás) e fertilizantes agrícolas (Sabesp, s.d.). Trata-se de um projeto da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), em parceria com o Instituto Fraunhofer IGB, que doou equipamentos de armazenagem, beneficiamento e compressão de biogás para a Sabesp, além de prestar assistência técnica e acompanhar a fase de pesquisas. A Sabesp realizou as obras de instalação de equipamento, da linha de biogás, do sistema elétrico e adaptou os veículos para o uso do biometano.

A unidade tem capacidade de produzir entre 1.500 e 1.700 Nm<sup>3</sup> de biometano para abastecer uma frota superior a 300 veículos. Durante o primeiro ano de operação, 18 veículos foram utilizados e consumiram 21.000 m<sup>3</sup> de biometano. Esse volume corresponde à economia de 33.000 litros de álcool. Durante o segundo ano, a frota passa a ter 38 veículos com uma expectativa de consumo de 45.000 m<sup>3</sup> e absorve de 7% a 10% da capacidade de produção. (Portal de Tratamento de Água, 2019).

Aplicável a cidades de médio e grande porte, o projeto pode ser replicado em segmentos públicos, pois está diretamente ligado ao serviço de estações de tratamento de água. No entanto, há possibilidade de estar atrelado a empresas que realizam esse serviço de forma privada, sendo vinculado ao segmento comercial e industrial que possuem ETE.

Esse modelo de negócio gera impactos positivos, como a criação de empregos, visto que novas áreas são abertas em uma empresa de tratamento de esgoto sanitário. Além disso, como projeto futuro, há possibilidade de uso do biometano em frotas de transporte público, podendo a população ter acesso à qualidade do serviço, o que corroboraria com a redução de custos com combustível.

Quanto ao financiamento, em torno de 56% do CAPEX do projeto veio de capital externo, neste caso, de parcerias com a Alemanha, sendo a Sabesp responsável pelo restante do investimento. Isso implica supor que pelo menos 60% de capital externo nesse tipo de projeto faz sentido e assume-se que poderia chegar em algo em torno de 80% de capital privado. Além disso, destaca-se que o setor de saneamento, vinculado às atividades de abastecimento e tratamento de água, já possui diversos *players* privados no Brasil. Ademais, nessas atividades do saneamento existem empresas de capital aberto, como a própria Sabesp, para a qual seria comum recorrer a capital de terceiros privados para financiar projetos.

O investimento total do projeto é de R\$ 7,4 milhões e foi feito pela Sabesp em parceria com o Instituto Fraunhofer IGB, da Alemanha.



## CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES

Os exemplos apresentados neste documento possibilitam a **aplicação de estratégias eficientes e sustentáveis em diferentes áreas de um município**, incluindo:

- Eficientização da iluminação
- Biomassa em saneamento e gestão
- Geração em edificações públicas
- Estabelecimento de redes inteligentes e demais aplicações digitais na cidade
- Implementação de medidas de eficiência energética em indústrias, edificações e demais áreas

Os modelos de negócios apresentados, assim como os temas referentes a aspectos da transição energética e de digitalização, apresentam **diferentes níveis de complexidade e aplicabilidade**. Assim, é importante pontuar que modelos de negócios mais simples e altamente aplicáveis podem ser realizados, auxiliando a **estabelecer uma estrutura para implementação de projetos mais complexos**. Além disso, os projetos-piloto podem contribuir para estabelecer **políticas públicas focadas em projetos sustentáveis**.

Diversos **cases** foram implementados pelo poder público ou este foi um parceiro estratégico por facilitar a implementação de soluções por vezes inovadoras, considerando o âmbito regulatório ou financeiro. Dessa forma, ressalta-se a **importância da criação e manutenção de políticas públicas e legislações que favoreçam o desenvolvimento tecnológico** em soluções aplicadas às cidades. Tanto o PEE quanto o P&D da ANEEL foram fontes de recurso importantes para a implementação de diversos **cases** como o PROBEN e *Urban Futurability*.

Ressalta-se que além de gerarem impactos econômicos, os **cases** apresentados também geraram impactos ambientais, como a redução de consumo energético e o acesso democrático à energia de qualidade. O case de inversores híbridos, por exemplo, possibilita que a geração solar distribuída possa ser ampliada cada vez mais no país, atendendo a comunidades que não estão conectadas atualmente ao Sistema Interligado Nacional e que carecem de fornecimento de energia de qualidade.

É relevante pontuar o desafio que os modelos inovadores possuem nos **aspectos regulatórios**. Por vezes, a regulação vigente no local não permite que determinados modelos de negócio sejam implementados ou estes sejam adaptados de forma a não trazer tantos benefícios quanto poderiam.

Esse caso aconteceu no modelo de *Solar as a Service*, da Enie, uma vez que a concessionária não poderia se beneficiar da venda de tarifa e precisou passar por um processo judicial para que o modelo fosse implementado como havia sido idealizado. No caso brasileiro, algumas alterações em legislações relacionadas à geração distribuída possibilitaram que novos modelos surgissem. A criação de um **sandbox regulatório**<sup>7</sup> também pode ser uma alternativa para viabilizar projetos-piloto.

Arelado a isso, há também a necessidade de estabelecer uma **governança comprometida a projetos sustentáveis** e promover a digitalização no planejamento urbano. A pauta da sustentabilidade, em geral, deve ser considerada um dos temas prioritários quando se trata do planejamento urbano, sendo necessário desenvolver estratégias para que esta seja de fato incluída nos programas governamentais. Dessa forma, é importante que a governança desses programas seja bem definida, com a divisão dos papéis de cada ente envolvido nos projetos.

Espera-se que esses modelos de negócios possam auxiliar na **criação de mercados dinâmicos, via políticas e/ou regulamentos favoráveis, em prol de produtos e serviços de qualidade para toda a população**. Com isso, os governos devem estar aptos ao cumprimento da legislação para propiciar uma transição energética limpa, justa e sustentável para as cidades.

---

<sup>7</sup> Ambiente regulatório experimental no qual não é necessário seguir a legislação convencional por determinado período, de forma a possibilitar o desenvolvimento de soluções inovadoras.

## REFERÊNCIAS

ABAQUE. (2017). **Visão geral de tecnologia e mercado para os sistemas de armazenamento de energia elétrica no Brasil [Online]**. Disponível em: [http://abaque.com.br/wp-content/uploads/2017/07/Estudo\\_Mercado\\_Armazenamento\\_Brasil.pdf](http://abaque.com.br/wp-content/uploads/2017/07/Estudo_Mercado_Armazenamento_Brasil.pdf).

ABEGÁS. (2022). **Biometano em Franca é "case" para maior distribuidora de gás no Brasil [Online]**. Disponível em: <https://www.abegas.org.br/arquivos/85534>.

ABERJE. (2019). **Sabesp em Franca se destaca pelo trabalho inovador de sustentabilidade energética [Online]**. Disponível em: <https://www.aberje.com.br/sabesp-em-franca-se-destaca-pelo-trabalho-inovador-de-sustentabilidade-energetica/>.

ABDIB. (2019). **Guia de Boas Práticas em PPPs de Iluminação Pública [Online]**. Disponível em: [https://www.abdib.org.br/wp-content/uploads/2019/06/guia\\_IP\\_A4\\_junho.pdf](https://www.abdib.org.br/wp-content/uploads/2019/06/guia_IP_A4_junho.pdf).

ABSOLAR. (2023). **Panorama solar fotovoltaica no Brasil e no mundo [Online]**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>.

Agência Senado. (2022). **Aprovado incentivo ao aproveitamento de lixo para produção de energia [Online]**. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2022/12/07/aprovado-incentivo-ao-aproveitamento-de-lixo-para-producao-de-energia>.

Ahmed, A. H., Bwisa, H. M., & Otieno, R. O. (2012). **Business Selection using Multi-Criteria Decision Analysis. International Journal of Business and Commerce**, 1(5), 64-81.

ANEEL. (2017). **Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica: Regulamentação Vigente**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: [https://www.aneel.gov.br/programa-de-p-d/-/asset\\_publisher/ahiml6B12kVf/content/regulamentacao-vigente/656831?inheritRedirect=false](https://www.aneel.gov.br/programa-de-p-d/-/asset_publisher/ahiml6B12kVf/content/regulamentacao-vigente/656831?inheritRedirect=false), acessado em 10/02/2022.

BCSD. (2022). **Cidades Sustentáveis**. Disponível em: [https://bcsdportugal.org/wp-content/uploads/2021/12/BCSD-Cidades-Sustentaveis\\_v22dez\\_19h51m.pdf](https://bcsdportugal.org/wp-content/uploads/2021/12/BCSD-Cidades-Sustentaveis_v22dez_19h51m.pdf). Acesso em: 05 dez 2023.

BNDES. (2018). **Com apoio de R\$ 10 milhões do BNDES, geradora de energia a partir de lixo é inaugurada no Rio de Janeiro** [Online]. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/com-apoio-de-r-10-milhoes-do-bndes-geradora-de-energia-a-partir-de-lixo-e-inaugurada-no-rio-de-janeiro>.

Caderno Setorial ETENE. (2021). **Energia Solar** [Online]. Disponível em: [https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/834/1/2021\\_CDS\\_174.pdf](https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/834/1/2021_CDS_174.pdf).

Caderno Setorial ETENE. (2022). **Micro e Minigeração Distribuída e suas perspectivas com a Lei Nº 14.300/2022** [Online]. Disponível em: [https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1342/3/2022\\_CDS\\_234.pdf](https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1342/3/2022_CDS_234.pdf).

Câmara dos Deputados. (2022). **Lei Nº 14.300: Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída** [Online]. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2022/lei-14300-6-janeiro-2022-792217-norma-atualizada-pl.doc>.

Canal Solar. (2021). **O que é geração distribuída de energia elétrica?** [Online]. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/o-que-e-geracao-distribuida-de-energia-eletrica/>.

Canal Solar. (2022). **Inversor solar, o que é e para que serve?** [Online]. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/inversor-solar-o-que-e-e-para-que-serve/>.

Canal Solar. (2023). **Programa social com solar só dará certo se houver apoio aos moradores** [Online]. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/programa-social-com-solar-so-dara-certo-se-houver-apoio-aos-moradores/>.

Cavalcante, N. W. F., Franco, C., Almeida, V., Freitas, F. d., & Tavares, E. (2019). **Smart Grid na América Latina: Caso Ampla de Inovação no Setor Elétrico**. Revista de Administração Contemporânea, 23(3), 416-435.

CCEE. **Resposta da demanda** [Online]. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/en/resposta-demanda>.

CGEE. (2012). **Redes Elétricas Inteligentes: contexto nacional**. Disponível em: [https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Redes\\_Eletricas\\_Inteligentes\\_22mar13\\_9539.pdf/36f87ff1-43ed-4f33-9b53-5c869ace9023?version=1.5](https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Redes_Eletricas_Inteligentes_22mar13_9539.pdf/36f87ff1-43ed-4f33-9b53-5c869ace9023?version=1.5).

CHP BRASIL. (2017). **Biogás é um combustível renovável** [Online]. Disponível em: <https://chpbrasil.com.br/biogas>.

C40. (2021). **A revolução da energia solar no Brasil: Como as cidades podem se beneficiar?** [Online]. Disponível em: <https://www.c40cff.org/knowledge-library/a-revolucao-da-energia-solar-fotovoltaica-no-brasil-como-as-cidades-podem-se-beneficiar>.

Di Santo, K. G., Kanashiro, E., Di Santo, S. G., & Saidel, M. A. (2015). **A review on smart grids and experiences in Brazil**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 52, 1072-1082.

Eduardo Tobias N. F. Ruiz, **Análise de investimento em projetos de energia solar fotovoltaica: geração centralizada**. Campinas: Alínea, 2021.

ENEL X. (2020). **10 reasons to participate in Demand Response programs** [Online]. Disponível em: <https://corporate.enelx.com/en/stories/2020/07/demand-response-benefits-for-companies>.

EPE. (2016). **Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica** [Online]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao172/Energia%20Renovavel%20%20Online%2016maio2016.pdf>.

EPE. **Resposta da demanda: Conceitos, Aspectos, Regulatórios e Planejamento Energético**. (2019). Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-389/NT\\_EPE\\_DEE-NT-023\\_2019-r0\\_Sum%C3%A1rio.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-389/NT_EPE_DEE-NT-023_2019-r0_Sum%C3%A1rio.pdf). Acesso em: 12 dez 2023.

Felicity. (2020). **Guia Prático para preparação de investimentos urbanos** [Online]. Disponível em: [https://cooperacaobrasil-alemanha.com/GuiaFELICITY\\_v1.pdf](https://cooperacaobrasil-alemanha.com/GuiaFELICITY_v1.pdf).

Greener. (2021). **Estudo Estratégico Mercado de Armazenamento Aplicações, Tecnologias e Análises Financeiras** [Online]. Disponível em: [https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/12882/1620069790Verso\\_Light\\_-\\_Estudo\\_Estratgico\\_do\\_Mercado\\_de\\_Armazenamento\\_de\\_Energia\\_no\\_Brasil.pdf](https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/12882/1620069790Verso_Light_-_Estudo_Estratgico_do_Mercado_de_Armazenamento_de_Energia_no_Brasil.pdf).

Greener. (2022). **Estudo Estratégico Geração Distribuída: Mercado Fotovoltaico** [Online]. Disponível em: [https://www.greener.com.br/wp-content/uploads/2022/08/Estudo-Estrategico-de-Geracao-Distribuida-2022-270922-1.pdf?utm\\_campaign=estudo\\_gd\\_1s2022\\_fluxo&utm\\_medium=email&utm\\_source=RD+Stati](https://www.greener.com.br/wp-content/uploads/2022/08/Estudo-Estrategico-de-Geracao-Distribuida-2022-270922-1.pdf?utm_campaign=estudo_gd_1s2022_fluxo&utm_medium=email&utm_source=RD+Stati).

IEA. (2022). **Smart Grids** [Online]. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/smart-grids>.

IstoÉ. (2019). **Governo de São Paulo e Enel fazem primeiro bairro 100% digital do Brasil** [Online]. Disponível em: <https://istoe.com.br/enel-distribuicao-sp-investira-r-125-mi-em-projeto/>.

IRENA. (2022). **Renewable power generation: costs in 2021** [Online]. Disponível em: [https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA\\_Power\\_Generation\\_Costs\\_2021.pdf?rev=34c22a4b244d434da0accde7de7c73d8](https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Power_Generation_Costs_2021.pdf?rev=34c22a4b244d434da0accde7de7c73d8).

Legislação Municipal de Belo Horizonte/MG. (2015). **Lei Nº 10.897/2015** [Online]. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/mg/b/belo-horizonte/lei-ordinaria/2015/1089/10897/lei-ordinaria-n-10897-2015-autoriza-a-delegacao-por-meio-de-parceria-publico-privada-dos-servicos-de-iluminacao-publica-no-municipio-incluidos-o-desenvolvimento-a-modernizacao-a-ampliacao-a-operacao-e-a-manutencao-da-rede-de-iluminacao-publica-e-da-outras-providencias>.

Mobile Time. (2021). **Belo Horizonte moderniza iluminação pública com telegestão via rede mesh** [Online]. Disponível em: <https://www.mobiletime.com.br/noticias/14/05/2021/ppp-entre-concessionaria-bhip-e-prefeitura-de-belo-horizonte-moderniza-iluminacao-da-cidade/>.

Michael Hamwi, Iban Lizarralde. **Energy entrepreneurship business models innovation: insights from European emerging firms**. BIEE Oxford 2018 Research Conference, Sep 2018, Oxford, United Kingdom.

Ministério da Economia. (2022). **Boletim Informativo de Debêntures Incentivadas** [Online]. Disponível em: <https://www.gov.br/economia/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins/boletim-de-debentures-incentivadas/2022/spe-me-boletim-debentures-lei-12-431-nov-2022.pdf>.

Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. (2023). **Carta Brasileira para Cidades Inteligentes** [Online]. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/desenvolvimento-urbano/carta-brasileira-para-cidades-inteligentes>.

Ministério de Minas e Energia. **Relatório Smart Grid** [Online]. Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/documents/36148/342584/RELATÓRIO+SMART+GRID/cf509d1b-b503-5eda-5392-97738fe6f45a?version=1.0>.

Ministério de Minas e Energia. (2018). **Iluminação pública municipal, programas e políticas públicas - orientações para gestores municipais** [Online]. Disponível em: [https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/sef/livreto-iluminacao-publica\\_2018\\_02\\_19.pdf](https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/sef/livreto-iluminacao-publica_2018_02_19.pdf).

NEMA. (2014). **Microgrids, macro benefits: How to talk to decision makers about building your own electrical power system** [Online]. Disponível em: <https://www.nema.org/docs/default-source/news-document-library/microgrids-macro-benefits.pdf>.

Neoenergia. (2022). **O futuro das cidades inteligentes** [Online]. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/pt-br/sala-de-imprensa/noticias/Paginas/Paginas/futuro-cidades-inteligentes.aspx>.

Neoenergia. (2022). **Neoenergia investe em internet das coisas para medidores inteligentes e plataforma de gestão** [Online]. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/pt-br/sala-de-imprensa/noticias/Paginas/internet-das-coisas-para-medidores-inteligentes-e-plataforma-de-gestao.aspx>.

Neoenergia. (2023). **Smart grids: o que é e como funciona essa inovação em distribuição de energia elétrica** [Online]. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/pt-br/te-interessa/inovacao/Paginas/smart-grid-o-que-e-como-funciona-inovacao-em-distribuicao-de-energia-eletrica.aspx>.

NeoSolar. (2023). **Equipamentos do kit solar I NeoSolar** [Online]. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/kit-solar>.

NREL. (2020). **Microgrids for Energy Resilience: A Guide to Conceptual Design and Lessons from Defense Projects** [Online]. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72586.pdf>.

Oliveira, Gabriel Aurélio. (2017). **Microrredes em mercados de energia elétrica** [Online]. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/185431/PEEL1772-D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

ONS. (2023). **Programa de resposta da demanda** [Online]. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/energia-amanha/resposta-da-demanda>.

**Our Commissioned and Ongoing Solar PV Projects**. Enie.za. Disponível em <https://www.enie.co.za/our-projects/>. Acesso em abr. de 2022.

Overholm, H. **Spreading the rooftop revolution: What policies enable solar-as-a-service?** *Energy Policy*, v. 84, p. 69-79, 2015.

Portal de Tratamento de Água. (2019). Produção e uso de biometano como combustível veicular na ETE Franca: resultados e considerações do primeiro ano de operação [Online]. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/biometano-combustivel-veicular-ete-franca/>.

PPP de Iluminação Pública. **Guia Prático de Estruturação de Projeto** [Online]. Disponível em: <https://www.dropbox.com/s/uujobxclqwa6kd/guia.pdf?dl=0>.

Potisat, T., Tongsovit, S., Aksornkij, A., Mounghareon, S. (2017). **To buy the system or to buy the service: the emergence of a solar service model in Thailand**. *Renewable Energy Focus*, 21, 1-10. ISSN 1755-0084. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2017.06.002>.

Prefeitura de Belo Horizonte. 2021. **PBH reduz taxas municipais e facilita a regularização do IPTU de 2020** [Online]. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/pbh-reduz-taxas-municipais-e-facilita-regularizacao-do-iptu-de-2020>.

Prefeitura do Rio de Janeiro. (2018). **Comlurb sai na frente e lança primeira unidade de biometanização da América Latina** [Online]. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/web/guest/exibeconteudo?id=8806038>.

PSMA. (2014). **What is a micro-grid?** [Online]. Disponível em: <https://www.pdma.com/sites/default/files/uploads/tech-forums-energy-efficiency/presentations/is201-what-micro-grid.pdf>.

Revista O Setor Elétrico. (2020). **Redes Inteligentes** [Online]. Disponível em: [https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2021/05/Edicao-175\\_FINAL\\_Simples.pdf](https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2021/05/Edicao-175_FINAL_Simples.pdf).

Sabesp. **Apresentação de casos práticos de biogás: Produção e uso de biometano na ETE Franca da Sabesp** [Online]. Disponível em: [https://www.abesrs.org.br/novo/materiais/materiais\\_2gexbr8x18ad.pdf](https://www.abesrs.org.br/novo/materiais/materiais_2gexbr8x18ad.pdf).

Santander. (2023). **Debêntures Incentivadas** [Online]. Disponível em: <https://www.santander.com.br/investimentos-e-previdencia/debentures-incentivadas>.

Secretaria Geral - Subchefia para Assuntos Jurídicos. (2015). **Lei Nº 13.190** [Online]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2015-2018/2015/lei/L13190.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2015-2018/2015/lei/L13190.htm).

Tecmundo. (2020). **STF derruba lei de antenas de SP e dá esperanças para o 5G** [Online]. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/mercado/208206-stf-derruba-lei-antenas-sp-esperancas-5g.htm>.

UFPEL. **Laboratório de Conforto e Eficiência Energética, Programa do Bom Uso Energético - PROBEN** [Online]. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/proben/acoes-e-resultados/acoes-4/>.

Unicamp. **Microrredes**. Disponível em: <https://www.campus-sustentavel.unicamp.br/microrredes/>.

UNIDO. (2021). **The role of bioenergy in the clean energy transition and sustainable development** [Online]. Disponível em: <https://www.unido.org/sites/default/files/files/2021-07/New-Publication-Bioenergy.pdf>.

US Department of Energy. (2022). **2020 Smart Grid System Report** [Online]. Disponível em: [https://www.energy.gov/sites/default/files/202205/2020%20Smart%20Grid%20System%20Report\\_0.pdf](https://www.energy.gov/sites/default/files/202205/2020%20Smart%20Grid%20System%20Report_0.pdf).

Valor Econômico. **Governo e Anatel dizem que todos os municípios terão 5G até 2029**. Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2021/11/17/governo-e-anatel-dizem-que-todos-os-municipios-terao-5g-ate-2029.ghtml>.

WEG. (2017). **WEG já oferece no mercado sistema de energia solar com tecnologia IoT** [Online]. Disponível em: <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/news/produtos-e-solucoes/weg-ja-oferece-no-mercado-sistema-de-energia-solar-com-tecnologia-iot>.





Cofinanciado pela  
União Europeia



Ministério de  
Minas e Energia

