



C40 CITIES
FINANCE
FACILITY



**A revolução da
energia solar
fotovoltaica no Brasil**
Como as cidades
podem se beneficiar?

PARTE 1: PLANEJAMENTO E ESTRUTURAÇÃO

Sumário

Sumário executivo	3
Objetivos do relatório	4
1. Introdução	5
1.1 Benefícios da energia solar fotovoltaica para os municípios	8
2. Regulação de geração distribuída (GD) no Brasil	10
2.1 Modalidades de geração distribuída de acordo com a REN482/2012 e REN 687/2015 da ANEEL	11
2.2 Compreendendo o atual processo de revisão	12
3. Por onde começar: governança e planejamento inicial	13
4. Aspectos técnicos e dimensionamento do sistema fotovoltaico	14
5. Casos de sucesso	16
5.1 “Curitiba Mais Energia”	16
5.2 Geração distribuída e eficiência energética através de parceria pública-privada em Fortaleza	16
5.3 Guerreira Zeferina – Complexo residencial de habitação social em Salvador	17
5.4 Uma educação melhor e mais sustentável em Imperatriz	17
6. Conclusão	18
7. Apêndice	19
Referências	21

Sobre o C40 Cities Finance Facility (CFF) é uma co-laboração do C40 Cities Climate Leadership Group e Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. O CFF apóia cidades em economias emergentes para desenvolver projetos prontos para serem financiados para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e fortalecer a resiliência contra os impactos das mudanças climáticas. O CFF é fundado pelo Ministério Federal de Cooperação Econômica e Desenvolvimento (BMZ) do Governo Alemão, o Departamento para Negócios, Energia e Estratégia Industrial do Reino Unido (BEIS), a Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (USAID) e o Children’s Investment Fund Foundation (CIFF).

Lista de figuras

Figura 1 – Matriz Elétrica Brasileira (Sistema de Informações de Geração da ANEEL, 2020)	5
Figura 2 – Preços do Sistema fotovoltaico por gama nominal de acordo com o estudo de mercado fotovoltaico brasileiro do Instituto IDEAL (IDEAL; AHK-RJ, 2019)	6
Figura 3 – Geração Centralizada	7
Figura 4 – Exemplos de sistemas de geração distribuída	7
Figura 5 – Crescimento da capacidade de geração distribuída de energia / Fonte: ANEEL, 2020	7
Figura 6 – Linha do tempo retratando a evolução da regulação da geração distribuída no Brasil. Fonte: Elaborado pelos autores.	10
Figura 7 – Geração junto à carga, Maury Garrett, ENIC (2018)	11
Figura 8 – Autoconsumo Remoto, Maury Garrett, ENIC (2018)	11
Figura 9 – Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras, Maury Garrett, ENIC (2018)	11
Figura 10 – Geração Distribuída Compartilhada, Maury Garrett, ENIC (2018)	11
Figura 11 – Componentes das tarifas elétricas. Fonte: Elaborado pelos autores.	12
Figura 12 – Alternativas formalmente propostas pela ANEEL para consulta pública como parte do processo de revisão da regulação da geração distribuída.	12
Figura 13 – Prefeitura de Curitiba (2019)	16
Figura 14 – Guerreira Zeferina antes do projeto (2018)	17
Figura 15 – Guerreira Zeferina após o projeto (2018)	17
Figura 16 – Escola de ensino fundamental em Imperatriz (2020)	17

Lista de tabelas

Tabela 1 – Potencial solar fotovoltaico – Brasil, Alemanha, França e Espanha (SWERA, 2014)	6
Tabela 2 – Resultados do projeto fotovoltaico da Prefeitura de Curitiba	16
Tabela 3 – Resultados esperados do projeto “Curitiba mais energia”	16
Tabela 4 – Resultados esperados do projeto PPP em Fortaleza	16
Tabela 5 – Resultados do projeto FV na Guerreira Zeferina	17
Tabela 6 – Ábaco para encontrar a potência nominal do sistema FV (kWp) para satisfazer um consumo anual de eletricidade numa região com uma dada irradiação solar. Consultar o PASSO 4	19

Sumário executivo

O Brasil tem potencial para se tornar um líder global na geração de energia solar fotovoltaica (FV). A irradiação solar elevada em todo o país, a redução dos preços de sistemas fotovoltaicos nos últimos anos e a regulação referente à geração distribuída (GD), em vigor desde 2012, têm contribuído para um crescimento exponencial dessa tecnologia no Brasil.

Os municípios brasileiros estão começando a apreciar os muitos benefícios de desenvolver projetos que adotam a energia solar fotovoltaica. Além de economizar nos custos com eletricidade, gerar novos empregos e potencializar a imagem pública de qualquer administração, a energia fotovoltaica também reduz as emissões de gases de efeito de estufa (GEE), compensando a utilização de fontes não renováveis, tais como petróleo e gás. A utilização de energia fotovoltaica pelos municípios está, também, estrategicamente ligada ao compromisso do Brasil de aumentar a fração de fontes de energia renováveis e não-hídricas na matriz elétrica nacional, de acordo com os objetivos da Contribuição Nacionalmente Determinada (INDC, na sigla em inglês) do país conforme o Acordo de Paris, assinado na COP21 em 2015.

Para aproveitar as oportunidades apresentadas pelos projetos de energia solar fotovoltaica, os municípios podem tomar algumas medidas:

Estabelecer estruturas de governança claras e tomar as decisões iniciais de planejamento, incluindo:

- Criar um comitê de especialistas encarregado do(s) projeto(s), com representantes de todo o município;
- Definir objetivos claros para o projeto e definir indicadores mensuráveis;
- Avaliar as opções jurídicas;
- Avaliar as opções iniciais de financiamento;
- Envolver-se com todos os stakeholders;
- Determinar o local onde o sistema fotovoltaico será instalado;
- Definir um cronograma preliminar do projeto.

Realizar uma avaliação técnica inicial do projeto proposto (‘dimensionamento’). Este processo preliminar de preparação do projeto deve incluir:

- Determinar a modalidade de geração distribuída mais adequada (Geração Junto à Carga, Autoconsumo Remoto, Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras (Condomínios) ou Geração Compartilhada);
- Calcular o padrão do consumo de eletricidade da(s) unidade(s) consumidora(s);
- Calcular a quantidade média de irradiação solar que o sistema fotovoltaico receberá por dia em um ano;
- Estimar a potência nominal fotovoltaica necessária para satisfazer a geração anual de eletricidade esperada;
- Calcular o número de módulos necessários e, conseqüentemente, a área que o sistema fotovoltaico irá ocupar;
- Definir se o sistema fotovoltaico será instalado na cobertura de uma edificação ou se será instalado em solo;
- Avaliar as medidas e considerações de segurança necessárias;
- Reavaliar a viabilidade do projeto caso a análise técnica preliminar mostrar-se não viável.

Essa análise preliminar foi elaborada para ser um processo iterativo através do qual as decisões iniciais podem ser revisadas antes de se chegar a uma decisão final. Após a conclusão desse processo inicial, os municípios podem iniciar a fase de concepção, o que exigirá considerações detalhadas sobre aquisição e financiamento

Os municípios brasileiros estão começando a apreciar os muitos benefícios de desenvolver projetos que adotam a energia solar fotovoltaica.

Objetivos do relatório

Este relatório apresenta uma visão geral do contexto atual da energia solar fotovoltaica no Brasil, abrangendo os benefícios socioeconômicos, ambientais e estratégicos dessa tecnologia. Ele descreve como os municípios podem avaliar diferentes modelos de negócio para a implantação da energia solar fotovoltaica e fornece um passo a passo sobre como planejar e desenvolver projetos fotovoltaicos, incluindo aspectos como regulação, governança e as questões técnicas.

A fim de fornecer informações úteis aos gestores municipais, aos tomadores de decisão e aos funcionários públicos, para planejar, conceber, financiar e implementar sistemas de energia solar fotovoltaica, abrange-se os seguintes aspectos:

- Contexto nacional sobre a energia solar fotovoltaica;
- Benefício da energia solar fotovoltaica para os municípios;
- Leis e regulações do setor fotovoltaico no Brasil;
- Modelos de negócio que podem ser adotados pelos municípios brasileiros;
- Governança e planejamento inicial de projetos de energia solar fotovoltaica no contexto dos municípios;
- Análise de viabilidade técnica e econômica;
- Guia passo a passo para dimensionamento preliminar de sistemas fotovoltaicos;
- Casos de sucesso no Brasil.

Um segundo relatório será publicado abrangendo outros aspectos relacionados aos projetos municipais de energia solar fotovoltaica, como, por exemplo, sua aquisição e seu financiamento.



1. Introdução

Os municípios são importantes atores no combate as mudanças climáticas. Várias cidades, em muitas regiões do mundo, estão sofrendo com os efeitos das alterações climáticas, incluindo secas severas, inundações, ondas de calor, incêndios e tempestades. O Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC, na sigla em inglês) das Nações Unidas em 2018 (IPCC, 2018) advertiu que se o aquecimento global exceder 2°C - um limite estabelecido pelo Acordo de Paris -, o nível do mar continuará a subir, as terras férteis provavelmente se transformarão em desertos e fenômenos climáticos extremos se tornarão mais frequentes.

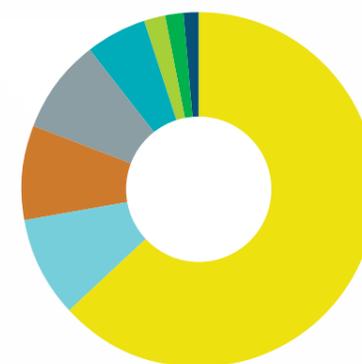
Tudo isso impõe enormes desafios aos municípios, onde vive 55% da população mundial. As cidades são responsáveis por aproximadamente 75% das emissões globais de gases do efeito de estufa (GEE) (REN21, 2019), dois terços das quais são originárias do setor energético (IPCC, 2018). Portanto, os governos locais têm um papel muito importante a desempenhar para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, tomando medidas concretas para aumentar a utilização das fontes renováveis para a geração de eletricidade e, ao mesmo tempo, para reduzir o consumo de energia. Projetos de energias renováveis, como a energia solar fotovoltaica, oferecem às cidades a oportunidade de não só reduzir as emissões de GEE, mas também diminuir a poluição atmosférica, melhorar a saúde pública, apoiar a indústria de energias renováveis da sua região, construir infraestruturas resilientes e conseguir economias financeiras significativas.

A matriz elétrica brasileira (Figura 3) é predominantemente composta por fontes de energia renováveis. No entanto, para atender a demanda de energia elétrica, o país depende da energia hídrica em larga escala, sendo essa susceptível ao regime de chuva e, o que pode causar impactos negativos nos aspectos sociais e ambientais. Uma alternativa viável para diversificar a matriz elétrica brasileira, reduzindo a dependência de usinas hidrelétricas de grande escala e usinas de combustíveis fósseis, é a utilização de energias renováveis, tais como a solar fotovoltaica (FV).

Mundialmente, a utilização de energia renovável - incluindo eólica, solar fotovoltaica, pequenas hidrelétricas, biomassa e geotérmica - aumentou significativamente nas últimas décadas, fornecendo 27% da geração global de eletricidade até ao final de 2019 [3]. A energia solar fotovoltaica é a tecnologia de energia renovável que regista o maior crescimento nesta década, atingindo 627 GW de capacidade total instalada no mundo inteiro no final de 2019 (REN21, 2020) e contando com 39 países com uma capacidade acumulada de 1 GW ou mais, incluindo o Brasil nessa lista (REN21, 2020).

Além disso, nos últimos anos, o preço da tecnologia fotovoltaica diminuiu graças a melhorias tecnológicas, à produção em massa, ao desenvolvimento de cadeias de abastecimento locais, as políticas públicas e à maturidade crescente do setor. Entre 2010 e 2019, o custo médio global nivelado da eletricidade (LCOE, na sigla em inglês)¹ para a energia solar fotovoltaica caiu 82%, para 68,40 USD por megawatt-hora (MWh) (IRENA, 2020).

A capacidade de energia solar fotovoltaica tem crescido exponencialmente no Brasil desde que a geração distribuída (GD) foi regulada em 2012 com a publicação da Resolução Normativa REN 482 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Antes disso, a geração distribuída no Brasil estava, em grande parte, limitada às instalações desconectadas da rede elétrica (off-grid), utilizando tanto a energia solar fotovoltaica quanto fontes fósseis, tais como o diesel. Até Maio de 2020, a capacidade solar fotovoltaica do Brasil registrada pela ANEEL estava na casa dos 5,7 GW (ANEEL, 2020) - considerando tanto a geração centralizada como a distribuída (ver a Box 1) - representando quase três vezes a capacidade registrada em 2018 (2,2 GW).



- Hídrica
- Eólica
- Biomassa
- Petróleo
- Carvão Mineral
- FV Centralizada
- Gás
- Nuclear

Figura 1: Matriz Elétrica Brasileira (Sistema de Informações de Geração da ANEEL, 2020)

¹ LCOE é a relação entre os custos e a produção de eletricidade ao longo da vida útil do equipamento, sendo ambos descontados para um ano comum utilizando uma taxa de desconto que reflete o custo médio do capital. Portanto, calcula o valor atual do custo total de construção e funcionamento de uma usina elétrica ao longo de uma vida útil prevista. LCOE é uma medida utilizada para avaliar e comparar métodos alternativos de produção de eletricidade.

Os preços também caíram significativamente. A Figura 1 mostra a redução de preços das instalações fotovoltaicas de pequena escala de 2013 a 2018. Em Janeiro de 2020, estes números reduziram ainda mais, com preços unitários, por Wp², reduzindo para R\$ 5,45 para pequenas instalações até 5 kWp, R\$ 4,03 para 6 a 30 kWp, R\$ 3,52 para 31 a 100 kWp, e tão baixo como R\$ 3,22 para instalações entre 100 kWp e 5 MWp (Greener, 2019).

Em geral, o Brasil tem um grande potencial para a geração de energia fotovoltaica. A Tabela 1 apresenta a irradiação solar do Brasil em comparação com a Alemanha, França e Espanha. A região menos ensolarada do Brasil tem uma irradiação de cerca de 4,25 kWh/(m².dia), um valor 25% superior à irradiação solar da região mais ensolarada da Alemanha, 3,42 kWh/(m².dia).

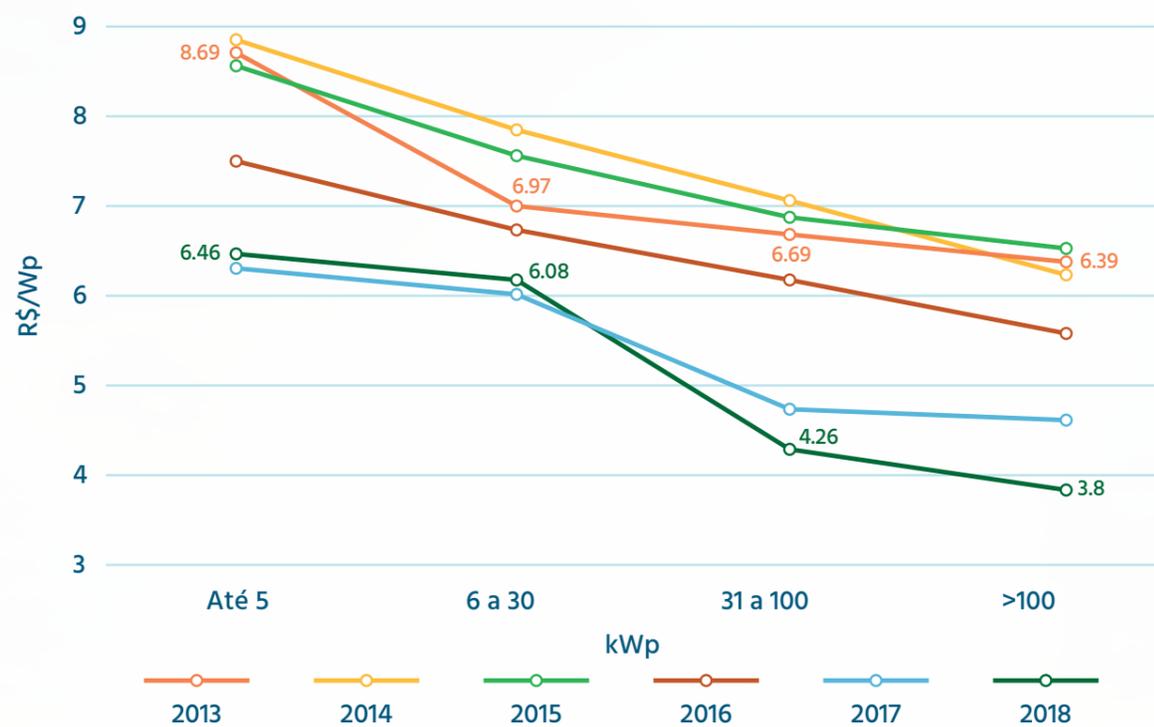


Figura 2: Preços do Sistema fotovoltaico por gama nominal de acordo com o estudo de mercado fotovoltaico brasileiro do Instituto IDEAL (IDEAL; AHK-RJ, 2019)

Irradiação solar (kWh/(m ² .dia))				
País	Mínimo	Máximo	Média	Área (Mil km ²)
Alemanha	2.47	3.42	2.95	357.02
França	2.47	4.52	3.49	543.97
Espanha	3.29	5.07	4.18	504.97
Brasil	4.25	6.75	5.50	8,515.77

Tabela 1: Potencial solar fotovoltaico – Brasil, Alemanha, França e Espanha (SWERA, 2014)

² Wp (Watt-pico) ou kWp (kilowatt-pico) refere-se à potência nominal de um módulo ou conjunto fotovoltaico. Esta unidade representa a quantidade de energia elétrica que pode ser fornecida por um módulo fotovoltaico (ou por uma matriz) sob Condições de Teste Padrão (CTP). É utilizada para comparar a produção de módulos fotovoltaicos de diferentes fabricantes e para prever a quantidade de eletricidade que estes podem produzir em condições "ótimas" de laboratório.

BOX 1

Geração centralizada (GC)

A geração centralizada (GC) refere-se a usinas elétricas de grande escala localizadas longe dos centros de consumo, exigindo a utilização de linhas de transmissão e subestações de energia para fornecer eletricidade a esses pólos. No Brasil, as usinas centralizadas têm capacidade instalada superior a 5 MW. Exemplos incluem usinas térmicas, nucleares e hidrelétricas de grande escala, bem como parques eólicos e solares fotovoltaicos. A Figura 3 apresenta a distribuição da geração centralizada de energia elétrica no Brasil, com uma participação de 1,7% da energia solar fotovoltaica.



Figura 3: Geração Centralizada

Geração distribuída (GD)

A geração distribuída refere-se a sistemas de geração de eletricidade em pequena escala e descentralizados, localizados perto dos consumidores e distribuídos em torno da rede local de distribuição, tais como sistemas fotovoltaicos em telhados. O sistema de compensação de energia elétrica, adotado desde que a geração distribuída foi regulada no Brasil (2012), impulsionou o crescimento do setor solar fotovoltaico no país. Em maio de 2020, a capacidade total instalada dos sistemas de geração distribuída no Brasil atingiu quase 3 GW, dos quais a energia solar fotovoltaica representava mais de 90% (Figura 5) (ANEEL, 2020).



Figura 4: Exemplos de sistemas de geração distribuída



Figura 5: Crescimento da capacidade de geração distribuída de energia / Fonte: ANEEL, 2020

1.1. Benefícios da energia solar fotovoltaica para os municípios

A aplicação da energia solar fotovoltaica distribuída tem uma série de benefícios para os municípios no Brasil. Dependendo do contexto, esses benefícios podem ser agrupados de diferentes formas para ajudar a justificar os projetos de energia fotovoltaica.



Benefícios socioeconômicos

- Economia nos custos de eletricidade: as verbas que anteriormente eram gastas em eletricidade podem ser realocadas para outras questões prioritárias no município;
- Atração de investimentos privados e desenvolvimento da cadeia de fornecimento de energia solar fotovoltaica;
- Geração de empregos locais e de alta qualidade;
- Formação e qualificação técnica de novos profissionais no município.

Benefícios ambientais

- Redução tanto das emissões de GEE como da poluição atmosférica, ao reduzir a dependência de energia gerada por usinas térmicas;
- Produção de eletricidade sem ruído, com baixo impacto ambiental e sem emissão de partículas em suspensão;
- Baixa produção de resíduos, devido a longa vida útil dos principais componentes fotovoltaicos, tais como módulos e inversores.

Outros benefícios

- Os sistemas FV são modulares, fáceis de transportar e montar e adaptam-se aos edifícios existentes em áreas públicas e privadas (escolas, hospitais, parques de estacionamento, centros comerciais, entre outros);
- Diversificação da matriz elétrica brasileira, permitindo uma menor dependência da energia de hidroelétricas. A energia hídrica está susceptível às condições pluviais que se tornaram ainda mais variadas devido às alterações climáticas. Dessa forma, depender menos de energia hídrica gera ao país maior segurança energética e confiabilidade da rede elétrica nacional, bem como tarifas de eletricidade mais baixas³;
- Melhoria da confiabilidade da rede a nível local;
- Adiamento de medidas de reforço da rede;
- Redução das perdas de transmissão e distribuição de energia elétrica;
- Demonstração da preocupação do município com o ambiente;
- Contribuição para o cumprimento nacional dos objetivos da iNDC.

³ No Brasil, a energia elétrica gerada através de usinas térmicas são ativadas apenas quando necessário, em outras palavras, quando todas as outras fontes de energia mais baratas, como a hídrica e a eólica, estão em funcionamento, mas são insuficientes para satisfazer a demanda de eletricidade do país. Portanto, o aumento das fontes renováveis, como a energia solar fotovoltaica, reduz efetivamente o número de horas de funcionamento das usinas térmicas, que são as mais caras do Brasil. Consequentemente, o custo nacional da geração de eletricidade diminui, impactando as tarifas de eletricidade transmitidas aos consumidores, seja reduzindo as tarifas ou baixando a taxa de aumentos anuais.

Impacto na criação de emprego

A Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) estima que, para cada 1 MW de PV instalado, são criados entre 25 e 30 empregos diretos no país (ABSOLAR, 2020). Em 2019, o setor gerou mais de 130.000 empregos e a ABSOLAR prevê a criação de mais de 100.000 novos empregos em 2020 (ABSOLAR, 2020).

Impacto climático

A redução das emissões de CO₂ através da utilização de energia solar fotovoltaica pode ser calculada multiplicando a eletricidade gerada pelo fator médio nacional de emissão de CO₂ para um determinado ano. Em 2019, com o fator médio de emissão de CO₂ no Brasil a 0,075 tCO₂/MWh, um sistema fotovoltaico que fornece 100 MWh/ano evita a emissão de 7,5 toneladas/ano de CO₂ na atmosfera (MCTIC, 2019).

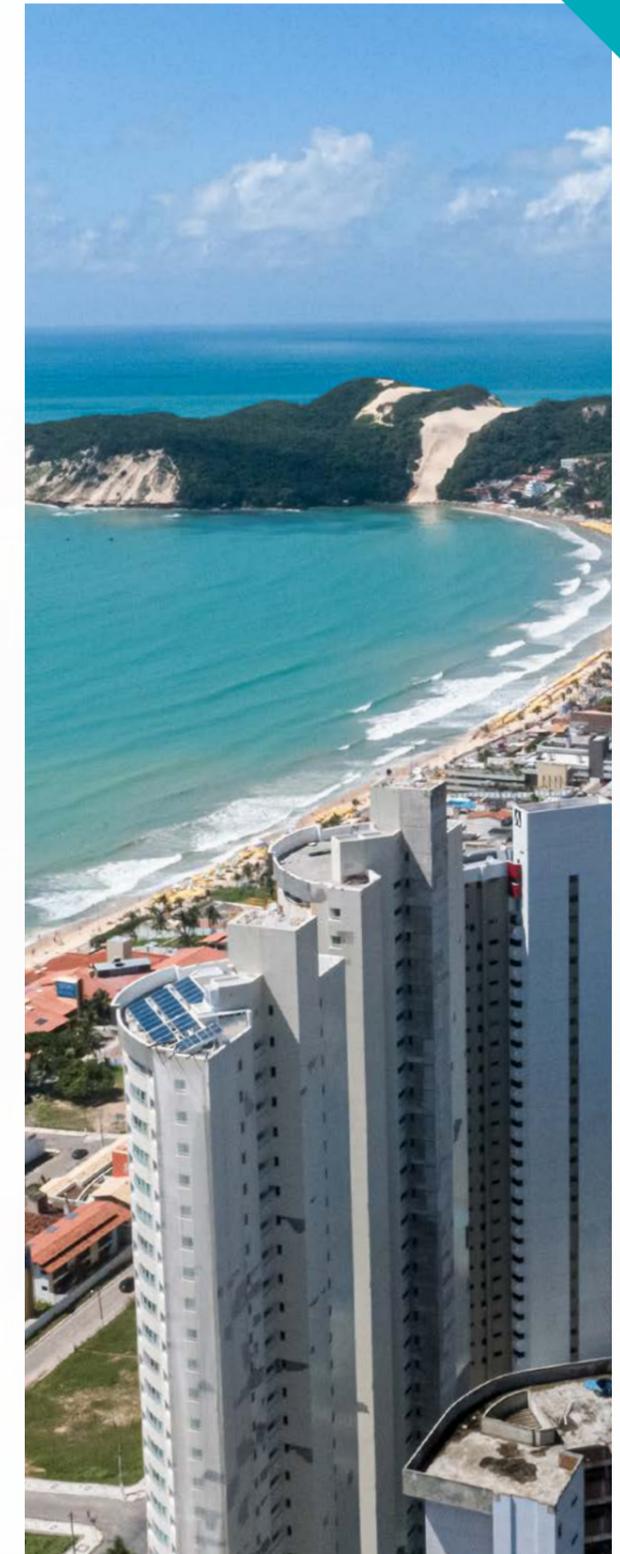
Contribuições Nacionalmente Determinadas (iNDC)

Em 2015, o Brasil submeteu suas iNDC ao Acordo de Paris. O objetivo do país para o setor elétrico é atingir uma quota de 45% de energias renováveis não-hidrelétricas na matriz energética até 2030 (REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, 2016). A expansão da energia solar fotovoltaica é fundamental para alcançar esses objetivos e os municípios têm um papel importante na liderança deste processo.

Outros benefícios

Os projetos fotovoltaicos são uma das várias formas de reduzir os custos da eletricidade dos municípios e devem fazer parte de uma estratégia de sustentabilidade mais ampla. Os projetos de eficiência energética em edifícios públicos, transportes, tratamento de água, iluminação pública e outros serviços municipais também ajudam a reduzir os custos da eletricidade. Associar projetos fotovoltaicos a projetos de eficiência energética pode aumentar consideravelmente os impactos positivos, melhorar os indicadores financeiros e aumentar o alcance e a probabilidade de oportunidades de financiamento.

A expansão da energia solar fotovoltaica é fundamental para alcançar esses objetivos e os municípios têm um papel importante na liderança deste processo.



2. Regulação de geração distribuída no Brasil

No Brasil, os sistemas de geração distribuída tornaram-se uma realidade com a resolução REN 482/2012 da ANEEL. Desde então, a regulação passou por algumas alterações. A Figura 6 apresenta uma linha do tempo que retrata o contexto e a evolução da regulação da geração distribuída no Brasil.

Em agosto, a geração distribuída solar FV atinge o marco de 1 GW.



Figura 6: Linha do tempo retratando a evolução da regulação da geração distribuída no Brasil. Fonte: Elaborado pelos autores.

2.1. Modalidades de geração distribuída de acordo com a REN482/2012 e REN 687/2015 da ANEEL

A Resolução Normativa (REN 482/2012) da ANEEL permite aos indivíduos e a quaisquer entidades jurídicas gerar a sua própria eletricidade no local da unidade consumidora, por meio do sistema de compensação de energia conhecido como net-metering (cada um kWh exportado para a rede gera um crédito de um kWh) (ANEEL, 2012).

O crédito de energia pode ser utilizado por um período de até 5 anos (60 meses). Entretanto, mesmo que o sistema de geração distribuída produza a mesma quantidade (ou mais) de eletricidade consumida na unidade consumidora a qual está associada, a fatura de energia nunca será nula. Existe um custo de ligação mínima mensal que contabiliza a disponibilidade da rede de distribuição para a unidade consumidora. Esse custo

Geração junto à carga

A geração fotovoltaica na própria unidade de consumo é a alternativa mais comum de geração distribuída no mercado brasileiro. Nesta modalidade, a eletricidade é produzida no mesmo local onde é consumida.



Figura 7: Geração junto à carga, Maury Garrett, ENIC (2018)

Autoconsumo Remoto

Aplicável aos consumidores que tenham mais de uma unidade de consumo no seu Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas (CNPJ). Sob esta alternativa, os consumidores podem compensar créditos de eletricidade em várias unidades, com uma porcentagem pré-estabelecida entre elas. Uma das vantagens deste modelo é que o sistema de produção de eletricidade pode ser localizado num local ideal para a produção. As unidades participantes devem estar dentro da mesma área de concessão, ou seja, servidas pela mesma companhia de distribuição de energia elétrica.



Figura 8: Autoconsumo Remoto, Maury Garrett, ENIC (2018)

de disponibilidade varia em função do tipo de ligação à rede (monofásico, bifásico ou trifásico).

As Resoluções da ANEEL REN 482/2012 e REN 687/2015 estabeleceram quatro modalidades que podem ser utilizadas para projetos de geração distribuída: (i) Geração Junto à Carga, (ii) Autoconsumo Remoto, (iii) Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras (Condomínios) e (iv) Geração Compartilhada (ANEEL, 2012) (ANEEL, 2015). Ao estruturar um modelo de negócio, uma destas modalidades de geração distribuída deve ser escolhida.

Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras ("Condomínios")

Os condomínios com geração distribuída são caracterizados por condomínios verticais ou horizontais com um sistema de geração distribuída instalado. A eletricidade gerada é compensada entre as unidades consumidoras do condomínio. Esta alternativa pode ser aplicada tanto a condomínios residenciais como a condomínios comerciais. Todas as unidades de consumo devem estar localizadas na mesma propriedade desde que essa que não seja cortada por vias públicas.



Figura 9: Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras, Maury Garrett, ENIC (2018)

Geração Compartilhada: Consórcios e Cooperativas

A geração distribuída compartilhada pode ser estruturada por meio de um consórcio ou de uma cooperativa.

No modo de consórcio, duas ou mais empresas fazem um acordo através de um contrato empresarial, a fim de tirar proveito da partilha de um sistema de geração distribuída. O consórcio deve subscrever o Registro Nacional de Pessoas Coletivas (CNPJ) e possuir a unidade consumidora onde será instalado o sistema de geração distribuída.

As cooperativas, por sua vez, são constituídas por indivíduos que desejam voluntariamente unir esforços, de acordo com os princípios da cooperativa, para gerar a sua própria eletricidade através de um sistema de geração distribuída. A eletricidade produzida é compensada nas unidades de consumo dos membros da cooperativa através da medição da rede.

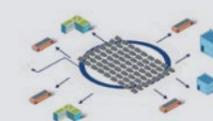


Figura 10: Geração Distribuída Compartilhada, Maury Garrett, ENIC (2018)

2.2. Compreendendo o atual processo de revisão

Atualmente a ANEEL está revisando a REN 482/2012, e avaliando o papel de cada componente na tarifa de eletricidade, tal como apresentado na Figura 11.

Estes componentes são:

- **Tarifa de Energia (TE):** i.e. a remuneração dos geradores de energia, representando cerca de 50% da tarifa de eletricidade. Desse montante, 38% correspondem à própria energia e 12% a encargos.
- **Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD):** i.e. a remuneração às concessionárias de distribuição de energia, representando cerca de 50% da tarifa de eletricidade. Desse montante, 6% se refere ao pagamento pelo Fio A (relacionado à transmissão), 28% pelo Fio B (relacionado à distribuição), 8% está relacionado às perdas e 8% aos encargos.

A ANEEL propôs alterações na forma como os créditos de energia serão compensados nos sistemas de geração distribuída (ANEEL, 2018). Cinco alternativas foram formalmente apresentadas para consulta pública. Com cada alternativa, uma ou mais das componentes da tarifa de eletricidade deixariam de ser compensadas, como mostra a Figura 12. A **Alternativa 0** representa o atual quadro do sistema de compensação de crédito individual em vigor. Por outro lado, a **Alternativa 5** representa o pior cenário para os “prosumidores”⁴: se esta alternativa for selecionada, apenas 38% da eletricidade produzida por um sistema de geração distribuída seria compensada.

O resultado desse processo de revisão terá um impacto significativo na viabilidade econômica dos projetos de geração descentralizada de eletricidade. Os gestores de projeto e proponentes de projetos de energia solar fotovoltaica devem manter-se sempre atualizados em relação a regulação vigente e incluir possíveis alterações nos cenários de avaliação de risco.

COMPONENTES TARIFÁRIOS

TARIFA DE USO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO (TUSD)				TARIFA DE ENERGIA (TE)		
TRANS. FIO B (distribuição)	TRANS. FIO A (transmissão)	ENCARGOS	PERDAS	ENCARGOS	ENERGIA	
28%	6%	8%	8%	12%	38%	

Figura 11: Componentes das tarifas elétricas. Fonte: Elaborado pelos autores.

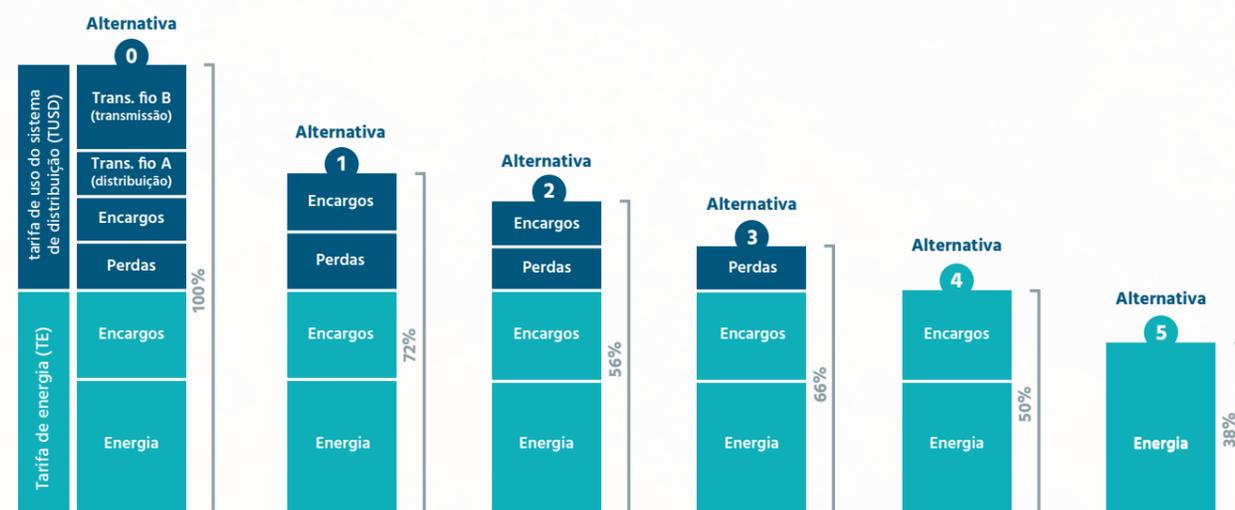


Figura 12: Alternativas formalmente propostas pela ANEEL para consulta pública como parte do processo de revisão da regulação da geração distribuída.

⁴ Prosumidor refere-se a uma pessoa que tanto produz como consome um produto. Neste caso, uma pessoa que consome e produz eletricidade através de um sistema de geração distribuída.

3. Por onde começar: governança e planejamento inicial

Os municípios podem implementar sistemas geradores de energia solar fotovoltaica em:

- **Zona urbana:** Edifícios públicos, habitações sociais, pontos de ônibus, terminais de transportes públicos, aterros sanitários, sinalizações viárias, entre outros.
- **Zona rural:** Edifícios públicos, estações de bombeamento de água, entre outros, dependendo de cada município.
- **Iluminação pública:** A utilização da energia solar fotovoltaica na iluminação pública pode eliminar a necessidade de linhas de distribuição adicionais e de grandes investimentos em infraestrutura.

Quando um município considera a instalação de um ou mais sistemas fotovoltaicos, há certos aspectos a serem considerados conforme apresentados no passo a passo a seguir. Note que essas etapas apresentadas não são exatamente sequenciais, mas, sim, ocorrem simultaneamente. A ordem exata em que deve ocorrer vai variar dependendo do município, do contexto, e do projeto do sistema fotovoltaico.

PASSO 1: Governança

O primeiro passo é estabelecer um comitê formal, muitas vezes chamado UGP (Unidade de Gestão de Projetos), que será responsável pelo planejamento e pela supervisão de todo o projeto. A UGP deve ser multidisciplinar. Os principais departamentos incluem planejamento e gestão, meio ambiente, finanças/tesouraria, compras e contratos, obras públicas, serviços urbanos, e departamentos responsáveis por edifícios ou áreas onde a energia fotovoltaica é considerada, tais como educação e saúde. A prefeitura deve estar representada para assegurar o seu apoio político ao projeto. A UGP deve ter um líder e os papéis e as responsabilidades devem ser claramente definidos, incluindo tanto funcionários de alto nível, como os secretários, bem como os técnicos.

PASSO 2: Estabelecendo objetivos e prazos claros

O município deve também estabelecer objetivos claros para o projeto fotovoltaico. A UGP deve procurar responder, pelo menos, as seguintes questões. Por que o município está considerando a adotar energia solar fotovoltaica? O que pretende alcançar? Os motivos são ambientais, sociais, financeiros, educacionais ou políticos? Quais os impactos previstos? Quais são os prazos e as expectativas no contexto de um típico mandato político de 4 anos?

O exercício de aprofundar essas questões-chave ajudarão o município definir indicadores e estabelecer objetivos mensuráveis.

PASSO 3: Quadro legal

O município poderá ter de estabelecer uma legislação própria, que a câmara municipal terá de aprovar. Por exemplo, certos tipos de aquisição ou financiamento exigem leis locais; o

estabelecimento da própria UGP pode ser formalizado por decreto; ou pode ser necessária uma lei para definir a forma como as poupanças financeiras geradas pelo projeto serão distribuídas.

A definição do quadro legal deve analisar quaisquer restrições ambientais ou se são necessárias licenças ambientais ou outras, e se o status legal dos edifícios ou terrenos públicos pretendidos permite a instalação de uma instalação solar fotovoltaica.

PASSO 4: Considerações preliminares sobre o financiamento

Embora isto possa ser definido detalhadamente mais tarde, o município deve rever as diferentes opções de financiamento disponíveis e se existem quaisquer restrições no acesso a elas. Há preferência pela utilização de recursos internos ou pela obtenção de um empréstimo? A classificação de crédito do município permite-lhe emitir dívida no montante exigido? O governo local está aberto a modelos inovadores, tais como PPPs (parcerias público-privadas), contratos de desempenho ou locação? Se o financiamento nacional ou internacional for considerado, existem requisitos ou processos específicos que devem ser cumpridos e que devem ser planejados desde o início?

PASSO 5: Envolvimento dos stakeholders

Os projetos tendem a ser mais bem sucedidos quando todos os stakeholders estão envolvidos no início do processo. Nos projetos fotovoltaicos municipais, isto pode incluir a companhia de eletricidade local, a câmara municipal, o governo estadual, instituições financeiras, potenciais fornecedores e prestadores de serviços, bem como a sociedade civil. A elaboração de um plano de comunicação que indique quem irá engajar as partes interessadas, como e quando, é um passo essencial no processo.

PASSO 6: Decidindo onde implementar

O município deve definir o escopo inicial do projeto fotovoltaico, tendo em mente os objetivos definidos anteriormente. Pode optar por utilizar um pequeno número de edifícios com elevado potencial solar (por exemplo, grandes áreas não obstruídas no telhado), ou por implementar um programa fotovoltaico em larga escala em construções pequenas e replicáveis, como escolas e unidades de saúde. Sistemas montados no solo em áreas abertas, tais como aterros urbanos, também podem ser considerados. Um projeto-piloto pode ser escolhido para elevar o perfil da tecnologia, tal como um edifício emblemático no qual o sistema fotovoltaico possa ser facilmente visto. Em qualquer caso, critérios técnicos e financeiros devem orientar o processo de tomada de decisão, procurando maximizar os benefícios (não só a poupança de energia, mas também os impactos positivos ambientais, sociais e educacionais) o âmbito inicial do projeto poderá eventualmente ter de ser modificado em função de cálculos preliminares, num processo iterativo.

PASSO 7: Decidindo quando implementar

A UGP pode agora definir uma linha temporal preliminar do projeto. Os aspectos a considerar incluem se deve começar com um projeto-piloto em pequena escala; recursos humanos e financeiros disponíveis; datas alvo especiais, tais como eleições; e outros fatores externos, como inaugurações, festivais locais e mesmo padrões meteorológicos sazonais.

4. Aspectos técnicos e dimensionamento do sistema fotovoltaico

Uma vez realizado o planejamento inicial, o município deve considerar os detalhes técnicos do projeto fotovoltaico.

Primeiro, o município deve determinar para qual(is) unidade(s) de consumidor(as) o sistema irá gerar eletricidade a ser compensada e onde esse sistema será instalado. Nesta fase, poderá ser possível identificar a melhor modalidade de geração distribuída a ser adotada no projeto: Geração Junto à Carga, Autoconsumo Remoto, Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras (Condomínios) ou Geração Compartilhada.

Em segundo lugar, o município deve dimensionar o sistema e identificar se a área disponível prevista para instalar o sistema fotovoltaico é suficiente para atender o consumo de energia elétrica daquela(s) unidade(s) consumidora(s). Deve também considerar o local onde o sistema fotovoltaico será instalado. Por exemplo, será ele montado no telhado de alguma edificação ou em solo?

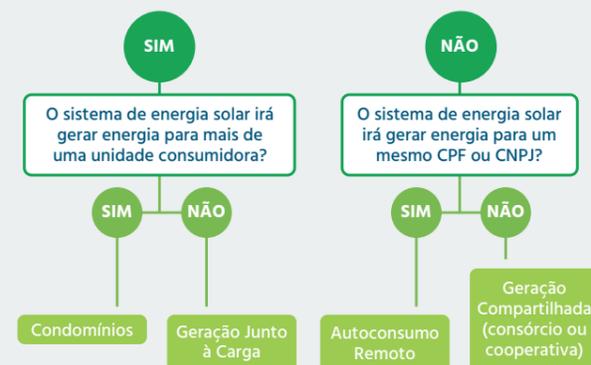
Em terceiro lugar, depois de analisar os aspectos anteriores, o município deve reavaliar a ideia original do projeto: depois de passar pela avaliação, a UGP pode perceber que a área selecionada não é suficientemente grande ou não tem as condições adequadas de radiação solar ou de segurança para a instalação de um sistema fotovoltaico. Poderá ser necessário reconsiderar o(s) local(is) de instalação e, conseqüentemente, a modalidade de geração distribuída inicialmente escolhida.

A Box 2 apresenta um processo simplificado, no formato passo a passo, para orientar o planejamento de um projeto de energia solar fotovoltaica. Esta sequência pretende permitir uma avaliação técnica e econômica preliminar. O planejamento final da concepção do sistema e a avaliação do local devem ser feitos por um profissional especializado.

BOX 2

PASSO 1: Modalidade de geração distribuída

O Sistema gerador de energia solar fotovoltaica e a unidade consumidora estão no mesmo local?



PASSO 2: Consumo de eletricidade:

Compreender os padrões de consumo de energia elétrica da(s) unidade(s) consumidora(s) que receberá(ão) os créditos de energia do projeto fotovoltaico é um passo essencial para dimensionar o sistema. O sistema fotovoltaico pode ser projetado para satisfazer uma fração considerável do consumo de eletricidade da unidade consumidora, se houver área suficiente e recursos financeiros iniciais disponíveis. Essa decisão dependerá das necessidades energéticas, das expectativas e da disponibilidade do local e das restrições orçamentárias para o projeto. Para calcular o consumo de energia elétrica, pegue a fatura de energia mais recente da(s) unidade(s) consumidora(s) escolhida(s) e calcule quanto de eletricidade foi consumida em um ano. Utilize esse valor no PASSO 4.



PASSO 3: Irradiação solar:

A irradiação solar é a quantidade de energia solar que atinge uma superfície por unidade de área durante um determinado período. É geralmente expressa em uma unidade de Wh/(m². dia). Identificar a irradiação solar onde o sistema fotovoltaico será instalado é um passo essencial para dimensionar o sistema necessário para atender um determinado consumo de energia. Esta etapa visa quantificar a quantidade média de irradiação solar que chegará nos módulos fotovoltaicos por dia num ano. Consulte o Apêndice para descobrir a irradiação média anual no município onde o sistema fotovoltaico será instalado. O número aqui encontrado será utilizado no PASSO 4.

PASSO 4: Potência nominal no sistema FV:

Com o consumo anual de energia elétrica e os números de irradiação solar em mãos, é possível estimar a potência nominal fotovoltaica necessária para atender a produção anual de eletricidade esperada. A Tabela 6 (no Apêndice) apresenta aproximações da potência nominal (em kWp) que o sistema FV deveria ter para satisfazer o consumo de eletricidade requerido.

PASSO 5: Área necessária:

Uma vez estimada a potência nominal do sistema fotovoltaico, o município pode calcular quantos módulos serão necessários e, conseqüentemente, a área que a instalação fotovoltaica irá ocupar. Consulte o Apêndice para descobrir a área necessária para a quantidade de módulos que o projeto irá requerer.

PASSO 6: Telhado ou solo?

Com base no PASSO 5, é possível avaliar agora se a área disponível atende à dimensão requerida para instalar o sistema fotovoltaico que foi dimensionando no PASSO 4. O sistema será montado no telhado ou no solo?

Se for montado no telhado, lembre-se que o azimute e a inclinação do telhado podem não estar nas condições ideais que foram consideradas nos cálculos (muito provavelmente não estarão) e que pode haver obstruções de sombreamento. Por conseqüente, o município deve considerar que a área calculada poderá ter de ser maior para satisfazer as expectativas de produção de eletricidade. Estas considerações ajudarão a administração municipal a avaliar se o local escolhido apresenta uma alternativa viável.

PASSO 7: Medidas e considerações de segurança

Dependendo se o sistema fotovoltaico será montado no solo ou no telhado, as medidas e as considerações de segurança podem ser diferentes.

Telhado:

- O município deve avaliar as condições elétricas do edifício onde o sistema fotovoltaico será instalado. Por exemplo, são necessárias remodelações/atualizações da rede elétricas da edificação?
- As condições estruturais do telhado devem suportar o peso adicional permanente dos módulos FV. Um profissional qualificado deve ser consultado para avaliar as condições estruturais do telhado.
- As condições climáticas também devem ser levadas em conta, por exemplo, áreas com ventos fortes. Isto pode revelar a necessidade de algum tipo de reforço para o suporte fotovoltaico e para a estrutura do telhado.

Solo:

Os sistemas FV montados no solo são mais susceptíveis ao vandalismo, ao crescimento da vegetação, à acumulação de poeira na superfície dos módulos e as novas construções circundantes que podem causar sombreamento no futuro. O município deve considerar as seguintes questões:

- Existem quaisquer restrições de zoneamento ou de uso do solo nesse local?
- Qual é o tipo do solo?
- Existem quaisquer requisitos mecânicos para a instalação de estruturas de suporte?
- A área é propensa a inundações?
- Quais são os requisitos de manutenção?
- Qual é o tipo de solo e a probabilidade de recalque?
- Existem quaisquer requisitos de segurança que possam ser necessários para evitar o vandalismo, como cercas, guardas e/ou câmeras de segurança?

PASSO 8: Reavaliação:

Depois de passar por essas etapas, o município pode perceber que algumas das ideias iniciais do projeto podem não ser tão viáveis como pareciam após uma primeira análise. O local que foi inicialmente considerado para a instalação do sistema fotovoltaico pode não ser capaz de suportar o peso dos equipamentos ou pode não ser suficientemente grande para atingir a produção de energia elétrica pretendida. Pode até ser necessário reconsiderar a modalidade de geração distribuída inicialmente definida. Se for esse o caso, o município deve reiniciar o processo de preparação do projeto no PASSO 1.

5. Casos de sucesso

5.1. "Curitiba Mais Energia"

A Prefeitura de Curitiba participou de um projeto de modernização de sua iluminação, com substituição de lâmpadas de baixo rendimento por LED e com a instalação de um sistema fotovoltaico no seu telhado. Este projeto recebeu fundos do Programa de Eficiência Energética (PEE) da Copel Distribuição (Companhia de distribuição de eletricidade em Curitiba), uma iniciativa regulada pela ANEEL. Deactivated Landfill (5 MWp), Intermodal Railway Bus Terminal (0,9 MWp), Santa Cândida Bus Terminal (0,7 MWp), Pinheirinho Bus Terminal (0,8 MWp), and Boqueirão Bus Terminal (1,4 MWp).

Capacidade de Geração (kWp)	Capacidade de Geração (kWp) Eletricidade Gerada (MWh/ano)	Redução Anual (tCO2e/ano)	Economia Financeira (R\$/ano)
144	212	15,9	100,000

Tabela 2: Resultados do projeto fotovoltaico da Prefeitura de Curitiba



Figura 13: Prefeitura de Curitiba (2019)

O C40 Cities Finance Facility (CFF) está apoiando outro projeto no programa "Curitiba Mais Energia". O projeto inclui a instalação de sistemas fotovoltaicos em 5 locais: Aterro Desativado de Caximba (5 MWp), Terminal Rodoviário Intermodal (0,9 MWp), Terminal Rodoviário Santa Cândida (0,7 MWp), Terminal Rodoviário Pinheirinho (0,8 MWp), e Terminal Rodoviário Boqueirão (1,4 MWp).

Capacidade de Geração (kWp)	Eletricidade Gerada (MWh/ano)	Redução Anual (tCO2e/ano)	Economia Financeira (R\$/ano)*
8,757	11,158	3,107	5,263,229

* A economia financeira foi estimada considerando uma tarifa de energia elétrica de 471,70 R\$/MWh

Tabela 3: Resultados esperados do projeto "Curitiba mais energia"

5.2. Geração distribuída e eficiência energética através de parceria pública-privada em Fortaleza

O município de Fortaleza busca, através de uma parceria público-privada (PPP), uma redução de 15% nos custos de eletricidade das escolas municipais, das creches e dos edifícios administrativos da Secretaria de Educação.

A Secretaria de Educação municipal de Fortaleza tem 490 edifícios, que juntos consomem aproximadamente 13 GWh por ano.

O projeto prevê a construção de sete usinas fotovoltaicas, que fornecerão eletricidade através da geração remota (7.270 kWp), e outros oito sistemas fotovoltaicos no telhado de algumas das escolas, fornecendo eletricidade através da geração junto à carga (214 kWp).

Capacidade de Geração (kWp)	Eletricidade Gerada (MWh/ano)	Redução Anual (tCO2e/ano)	Economia Financeira (R\$/ano)*
7,484	13,174	3,668	6,214,175

* A economia financeira foi estimada considerando uma tarifa elétrica de 471,70 R\$/MWh

Tabela 4: Resultados esperados do projeto PPP em Fortaleza

5.3. Guerreira Zeferina – Complexo residencial de habitação social em Salvador

Uma parceria entre a cidade de Salvador e a empresa local de distribuição de eletricidade, COELBA, deu origem ao projeto de geração de energia fotovoltaica e de eficiência energética na Guerreira Zeferina - Complexo habitacional social.

Este projeto recebeu fundos da COELBA, também no contexto do Programa de Eficiência Energética (PEE). O principal objetivo é reduzir os custos de eletricidade para as famílias de baixa renda que vivem no complexo. O sistema fotovoltaico fornece eletricidade às áreas comuns do complexo residencial, à creche comunitária vizinha, enquanto a eletricidade excedente é utilizada para reduzir os custos de eletricidade do município.



Figura 14: Guerreira Zeferina antes do projeto (2018)



Figura 15: Guerreira Zeferina após o projeto (2018)

Capacidade de Geração (kWp)*	Eletricidade Gerada (MWh/ano)	Redução Anual (tCO2e/ano)	Economia Financeira para a Prefeitura (R\$/ano)
194,6	297	82,7	140,000

* A Capacidade de geração foi estimada com base nos dados de irradiação solar de Salvador (o Sistema foi simulado em <https://www.americadosol.org/simulador/>)

Tabela 5: Resultados do projeto FV na Guerreira Zeferina

5.4. Uma educação melhor e mais sustentável em Imperatriz

Devido à preocupação com o conforto e com o desempenho acadêmico dos estudantes das escolas públicas de Imperatriz, o município instalou equipamento de ar condicionado em 139 unidades do ensino básico e fundamental. No entanto, a cidade estimou que esta ação iria triplicar o consumo de energia. Para reduzir este impacto financeiro no município, a cidade está implementando usinas fotovoltaicas em 32 escolas. A eletricidade gerada será utilizada para reduzir as despesas de todas as unidades de ensino no município.

O investimento total é de R\$10,1 milhões e foi financiado pelo Fundo de Manutenção e Desenvolvimento do Ensino Fundamental e de Valorização do Magistério (FUNDEF).



Figura 16: Escola de ensino fundamental em Imperatriz (2020)

6. Conclusão

As mudanças climáticas já estão provocando graves consequências, que continuarão a agravar-se na ausência de ações concretas.

Embora a matriz elétrica brasileira seja predominantemente renovável (83%), não é diversificada e depende da produção hídrica em grande escala (EPE, 2019). Consequentemente, em períodos de baixa pluviosidade, o Brasil tem de recorrer a usinas térmicas de combustíveis fósseis para que forneçam eletricidade suficiente para satisfazer a demanda interna, aumentando as emissões de GEE e os preços da eletricidade em todo o país.

A adoção nacional de energia solar fotovoltaica é fundamental para diversificar a matriz elétrica, reduzindo as emissões e os custos com energia elétrica. A energia fotovoltaica é uma opção atrativa para os municípios que procuram reduzir custos e contribuir para a mitigação das mudanças climáticas, oferecendo inúmeros benefícios sociais, econômicos, ambientais e estratégicos. Ao tomar a importante decisão de implementar a energia solar fotovoltaica, os municípios irão posicionar-se como líderes da inovação e sustentabilidade.



Para tirar proveito destas oportunidades, os municípios devem considerar que:

- 1 A atual regulação do Brasil permite que projetos fotovoltaicos até 5 MW sejam ligados à rede elétrica, conhecidos como microgeração e minigeração. Estão disponíveis quatro alternativas diferentes de geração distribuída, todas elas resultando em economias de custos através de um esquema de compensação de energia.
- 2 Os municípios que planejam instalar sistemas fotovoltaicos devem começar por estabelecer uma governança clara e um quadro legal. O estabelecimento de objetivos e a garantia do envolvimento das partes interessadas são passos iniciais cruciais.
- 3 Os municípios devem efetuar uma análise preliminar das opções de financiamento disponíveis, considerando as suas preferências financeiras e quaisquer restrições.
- 4 As cidades podem estimar a dimensão e a produção dos seus sistemas FV internamente, mesmo antes de contratarem consultores ou fornecedores de sistemas fotovoltaicos. As entradas para esta tarefa incluem o conhecimento do consumo de eletricidade, dos locais iniciais dos sistemas FV, da área disponível e da irradiação solar local. Existem ferramentas disponíveis publicamente para ajudar com as informações e com os cálculos.
- 5 O dimensionamento preliminar de projetos FV pode ser um processo iterativo através do qual as decisões iniciais, tais como modelos de negócio e localizações de sistemas, podem ser revistas antes de se chegar a uma decisão final.
- 6 Após a conclusão deste processo inicial, os municípios podem iniciar a fase de concepção, o que exigirá considerações detalhadas sobre procedimentos de compra e financiamentos. Estes serão o tema de um relatório separado que virá a seguir.

7. Apêndice

Este apêndice descreve mais detalhadamente os cálculos propostos no capítulo “Aspectos técnicos e dimensionamento do sistema FV”, relativos aos PASSO 3, PASSO 4 e PASSO 5.

PASSO 3: Irradiação solar:

A base de dados mais completa para irradiação solar no território brasileiro pode ser encontrada no Atlas Brasileiro de Energia Solar. Estes dados podem ser consultados em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html

1. Uma vez na base de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar, descarregue o arquivo .csv intitulado “Irradiação no Plano Inclinado” e pesquise os dados do município onde o sistema fotovoltaico será instalado.
2. Os dados são apresentados como uma média em Wh/(m2.dia) para cada mês. Calcular a média anual a partir desses meses e guardar este número para o PASSO 4.

PASSO 4: Potência nominal no sistema FV:

O ábaco⁴ apresentado na Tabela 6 foi concebido para ajudar a determinar a potência nominal FV (em kWp) necessária para satisfazer um consumo anual de eletricidade (eixo vertical) para uma determinada irradiação solar média anual numa superfície (eixo horizontal).

É importante salientar que os números aqui encontrados consideram que a usina fotovoltaica está instalada em condições ideais, ou seja, considerando que os módulos fotovoltaicos estão virados para o Equador (para Norte no Hemisfério Sul e para Sul no Hemisfério Norte), com inclinação igual à latitude do local, e sem obstruções de sombreamento sobre a sua superfície.

É também importante ter em mente que este é um cálculo aproximado. Contudo, ele fornece uma boa estimativa do tamanho do sistema fotovoltaico necessário em uma situação específica.

PASSO 5: Área necessária:

A quantidade de módulos fotovoltaicos é o resultado da divisão da potência nominal total do sistema FV pela potência nominal de cada módulo (geralmente em Wp).

1. Localizar as informações técnicas dos módulos fotovoltaicos FV no site do fabricante e fazer o download da ficha de dados técnicos correspondente ao modelo do módulo FV que será utilizado no projeto. Isto fornecerá a informação mais atualizada.
2. Se essa informação não estiver disponível, utilizar como regra geral uma potência nominal de 340 Wp e uma área de 1,95 m² por módulo.
3. Dividir a potência nominal requerida calculada no PASSO 4 pela potência nominal do módulo. O resultado será o número de módulos necessários para satisfazer a potência nominal estimada do sistema fotovoltaico. Lembre-se que no PASSO 4, o ábaco forneceu-lhe a potência nominal em kWp. Portanto, multiplique por 1.000 para converter para Wp.

$$\frac{\text{Potência nominal do sistema FV encontrada no PASSO 4} \times 1000}{\text{Potência nominal do módulo FV}} = \text{Número de módulos FV necessários}$$

4. Na maioria dos casos, o resultado será um número decimal: arredondar este número para o número inteiro mais próximo. Lembre-se, esta é uma estimativa aproximada.
5. Multiplicar o número de módulos pela área de um único módulo, a fim de encontrar uma estimativa da área total necessária.

		Irradiação Solar [Wh/(m2.dia)]												
		4,000	4,250	4,500	4,750	5,000	5,250	5,500	5,750	6,000	6,250	6,500	6,750	7,000
Consumo Anual de Eletricidade (kWh/year)	60,000	54,8	51,6	48,7	46,1	43,8	41,7	39,9	38,1	36,5	35,1	33,7	32,5	31,3
	120,000	109,6	103,1	97,4	92,3	87,7	83,5	79,7	76,2	73,1	70,1	67,4	64,9	62,6
	180,000	164,4	154,7	146,1	138,4	131,5	125,2	119,6	114,4	109,6	105,2	101,2	97,4	93,9
	240,000	219,2	206,3	194,8	184,6	175,3	167,0	159,4	152,5	146,1	140,3	134,9	129,9	125,2
	300,000	274,0	257,9	243,8	230,7	219,2	208,7	199,3	190,6	182,6	175,3	168,6	162,4	156,6
	360,000	328,8	309,4	292,2	276,9	263,0	250,5	239,1	228,7	219,2	210,4	202,3	194,8	187,9
	420,000	383,6	361,0	340,9	323,0	306,8	292,2	279,0	266,8	255,7	245,5	236,0	227,3	219,2
	480,000	438,4	412,6	389,6	369,1	350,7	334,0	318,8	304,9	292,2	280,5	269,8	259,8	250,5
	540,000	493,2	464,1	438,4	415,3	394,5	375,7	358,7	343,1	328,8	315,6	303,5	292,2	281,8
	600,000	547,9	515,7	487,1	461,4	438,4	417,5	398,5	381,2	365,3	350,7	337,2	324,7	313,1

Tabela 6: Ábaco para encontrar a potência nominal do sistema FV (kWp) para satisfazer um consumo anual de eletricidade numa região com uma dada irradiação solar. Consultar o PASSO 4

⁴ Este ábaco considera uma Relação de Desempenho (RD) conservadora de 75%. RD é o quociente da energia efetivamente produzida (utilizada) em relação à energia que seria produzida por um sistema “perfeito” operando continuamente em Condições de Teste Padrão (CTP) sob a mesma irradiação.



Referências

- ABSOLAR**, 2020. Energia Solar Fotovoltaica: Panorama, Oportunidades e Desafios, Recife (PE): s.n.
- ANEEL**, 2012. RESOLUÇÃO NORMATIVA N\textordmasculine 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012. s.l.:s.n.
- ANEEL**, 2015. RESOLUÇÃO NORMATIVA N\textordmasculine 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015. s.l.:s.n.
- ANEEL**, 2018. Relatório de Análise de Impacto Regulatório n\textordmasculine 0004/2018-SRD/SCG/SMA/ANEEL, s.l.: s.n.
- ANEEL**, 2020. Geração Distribuída por Fonte. s.l.:s.n.
- EPE**, 2019. Relatório Síntese. Balanço Energético Nacional 2019 / Ano Base 2018, Rio de Janeiro: s.n.
- Greener**, 2019. Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída - 4 Trimestre de 2019, s.l.: s.n.
- IDEAL; AHK-RJ**, 2019. The Brazilian Market of Distributed Solar PV Generation - Annual Report 2019, Florianópolis: s.n.
- IPCC**, 2018. Special Report on Global Warming of 1.5°C, Geneva: s.n.
- IRENA**, 2019. Renewable Power Generation Costs in 2018, Abu Dhabi: s.n.
- IRENA**, 2020. Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050, Abu Dhabi: s.n.
- MCTIC**, 2019. Fator médio - Inventários corporativos. s.l.:s.n.
- REN21**, 2019. Renewables in Cities: 2019 Global Status Report, Paris: s.n.
- REN21**, 2020. Renewables 2020: Global Status Report 2020, Paris: s.n.
- República Federativa Do Brasil**, 2016. Contribuição Nacionalmente Determinada para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. s.l.:s.n.
- Sistema de Informações de Geração da ANEEL**, 2020. Matriz Renováveis / Não Renováveis. s.l.:s.n.
- SWERA**, 2014. Global Solar Atlas. s.l.:s.n.

Agradecimentos

Este relatório foi escrito por **Alexandre Schinazi, Bruno Chaves, Kathlen Schneider e Rosane Fukuoka**.

Citação sugerida: C40 Cities Finance Facility (2019). 'A revolução da energia solar fotovoltaica no Brasil: Como as cidades podem se beneficiar?' - Part 1: Planejamento e estruturação'

**C40 Cities Climate
Leadership Group**

3 Queen Victoria Street, City
London EC4N 4TQ
United Kingdom

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

Potsdamer Platz 10
10785 Berlin
Germany

E contact@c40cff.org
W c40cff.org

Funding partners:



Implementing agencies:



Institutional Supporter:

