

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, CONTABILIDADE E ATUÁRIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

Enzo Sakashita Nishimoto

Estudo da Viabilidade de Projetos de Energia Solar no Brasil

São Paulo
2022

Enzo Sakashita Nishimoto

Estudo da Viabilidade de Projetos de Energia Solar no Brasil

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Economia da faculdade de economia, administração, contabilidade e atuária da Universidade de São Paulo como requisito para a obtenção do título de Economia.

Orientador: Prof. Danilo Igliori

São Paulo

2022

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos à minha família, em especial à minha Mãe e ao meu Pai, que me ensinaram, na prática, o significado de integridade, perseverança e amor; aos meus amigos, que me acompanharam e me apoiaram durante toda minha caminhada; ao Professor Danilo Iglioni; ao André Yuiti Abe e à Beatriz Loureiro, pela contribuição com a modelagem e formatação deste trabalho, respectivamente.

"Uma sociedade que coloca a igualdade antes da liberdade não obterá nenhuma das duas" - Milton Friedman

RESUMO

Pretende-se, neste trabalho, estudar o mercado de energia solar residencial em todo o território brasileiro, abrangendo: o contexto e a situação das matrizes energéticas para a geração de energia elétrica atuais; dinâmica, tendências e eventuais projeções mercadológicas do setor de energia solar no Brasil; e fatores geográficos relevantes para a questão energética, de modo a fornecer análises de viabilidade econômica de painéis solares residenciais para o território nacional como meio de produção energética e/ou investimento.

Palavras-chave: Energia Solar; Financiamento Solar; Sistema Fotovoltaico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz energética brasileira (2020)	10
Figura 2 – Matriz elétrica brasileira (2020)	11
Figura 3 – Preço médio do kWh de energia elétrica por estado (2022) em reais . .	13
Figura 4 – Inflação acumulada de 1996 à 2021	14
Figura 5 – Composição do painel	15
Figura 6 – Exemplo esquemático do modelo	16
Figura 7 – Instalações fotovoltaicas	18
Figura 8 – Potência adicionada de Janeiro a Junho	19
Figura 9 – Evolução do preço do Polissilício	20
Figura 10 – Preço médio de sistemas fotovoltaicos residenciais	21
Figura 11 – Irradiação direta	22
Figura 12 – Potencial fotovoltaico	23
Figura 13 – Modelo esquemático	25
Figura 14 – Exemplo simplificado de Fluxo de Caixa em caso de aquisição à vista .	26
Figura 15 – Exemplo simplificado de Fluxo de Caixa em caso de ausência de projeto.	26
Figura 16 – Exemplo simplificado de Fluxo de Caixa em caso de financiamento. . .	27
Figura 18 – Exemplo da tabela de variáveis do projeto	33
Figura 19 – Tabela dos indicadores financeiros do projeto.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Indicadores de viabilidade econômica do projeto.	28
Tabela 2 – Variáveis e Parâmetros	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BEN	Balanco Nacional Energético
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IPCA	Índice de Preços ao Consumidor Amplo

SUMÁRIO

1	OBJETIVOS	9
2	SETOR DE ENERGIAS NO BRASIL	10
2.1	MATRIZES ENERGÉTICA E ELÉTRICA ATUAIS NO BRASIL	10
2.2	DEMANDA E PREÇOS DA ENERGIA ELÉTRICA	12
2.3	INFLAÇÃO E AUMENTO DE PREÇOS DA ENERGIA ELÉTRICA	13
3	ENERGIA SOLAR NO BRASIL	15
3.1	FUNDAMENTOS TÉCNICOS E FUNCIONAMENTO	15
3.1.1	Funcionamento dos painéis solares	15
3.1.2	Integração com a rede elétrica residencial	15
3.2	SITUAÇÃO ATUAL DO SETOR NO BRASIL	16
3.2.1	Oferta	17
3.2.2	Demanda	17
3.2.3	Preços	19
3.2.4	Financiadores	21
3.3	INCIDÊNCIA DE IRRADIAÇÃO SOLAR NO TERRITÓRIO BRASILEIRO	21
4	VIABILIDADE ECONÔMICA DE INSTALAÇÕES DE PAINÉIS FOTOELÉTRICOS	24
4.1	INTUIÇÃO E PREMISSAS	24
4.2	MODELAGEM	24
4.2.0.1	<i>Aquisição à vista</i>	25
4.2.0.2	<i>Financiamento</i>	27
4.2.1	Simulador	27
4.2.1.1	<i>Plataforma e base de dados</i>	27
4.2.1.2	<i>Cálculos e tratamentos de variáveis</i>	28
4.2.1.3	<i>Suposições e limitações do Simulador</i>	29
4.2.1.4	<i>Interpretação dos Resultados obtidos</i>	29
	REFERÊNCIAS	31
	APÊNDICE A – Guia de uso do simulador	32
	APÊNDICE B – Exemplo ilustrativo do Simulador	33

1 OBJETIVOS

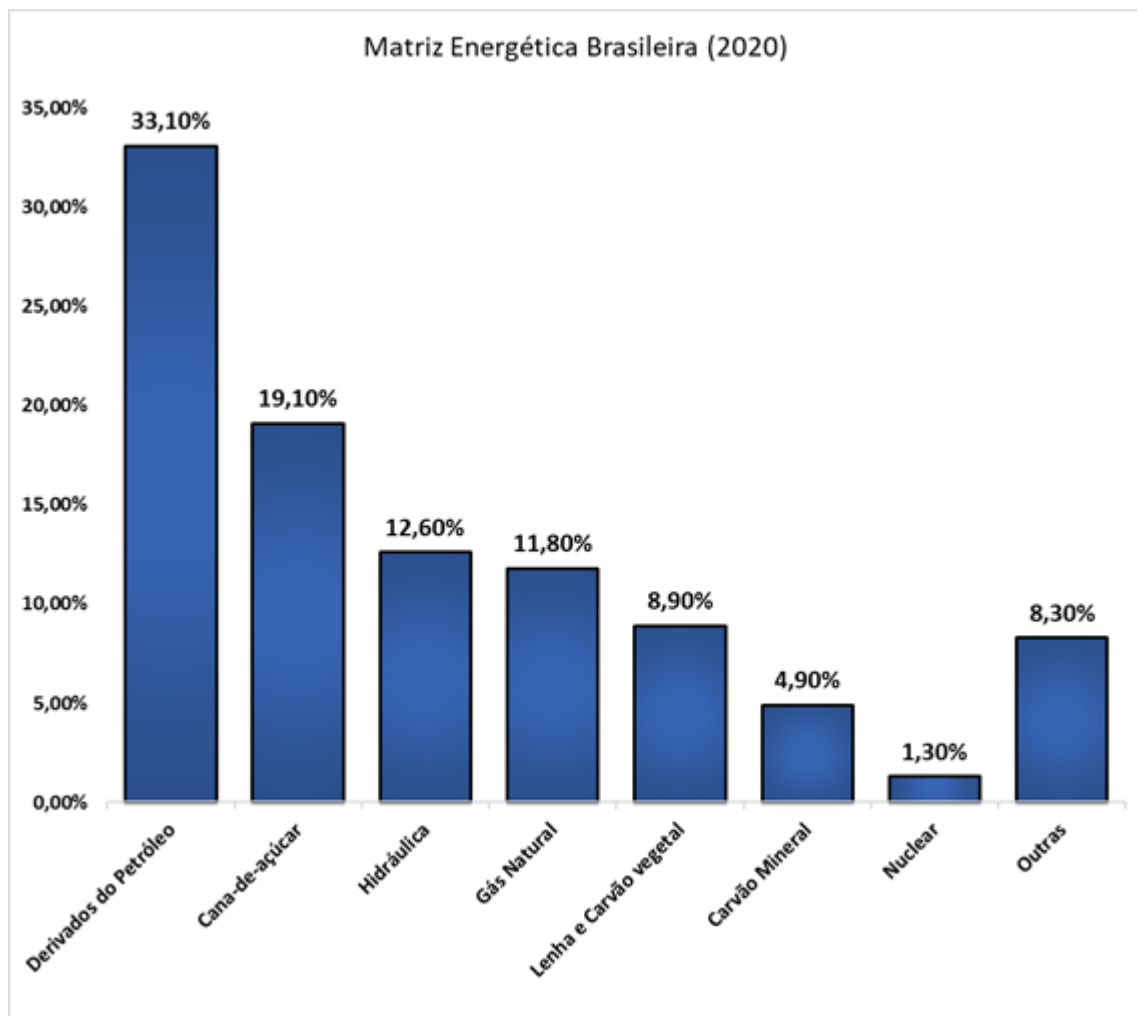
O objetivo deste trabalho é apresentar um panorama geral e noções sobre o mercado de energia solar no Brasil, sobre os potenciais avanços deste setor e apresentar um modelo para estimar a viabilidade econômica da instalação de painéis solares residenciais, tomando como base fatores geográficos (como níveis de irradiação solar) e econômicos (como preços da energia elétrica ou alternativas à essa, preços dos painéis solares, possibilidades de financiamento e consumo de energia).

2 SETOR DE ENERGIAS NO BRASIL

2.1 MATRIZES ENERGÉTICA E ELÉTRICA ATUAIS NO BRASIL

Segundo dados do BEN (Balanço Nacional Energético) de 2021, a matriz energética do Brasil no ano de 2020 contava com o protagonismo do petróleo, da cana-de-açúcar, do gás natural e de hidrelétricas, que juntos somavam mais de 75% das fontes energéticas do país (Figura 1). O foco deste trabalho, porém, reside em apenas parte da matriz energética brasileira, mais especificamente naquela destinada para a geração de energia elétrica, isto é, na matriz elétrica (Figura 2). Sobre esta matriz, nota-se claramente o predomínio de fontes renováveis (tais como hidrelétricas, biomassa e eólica), mas ainda contando com o uso considerável de fontes não renováveis (que somam quase 20%).

Figura 1 – Matriz energética brasileira (2020)



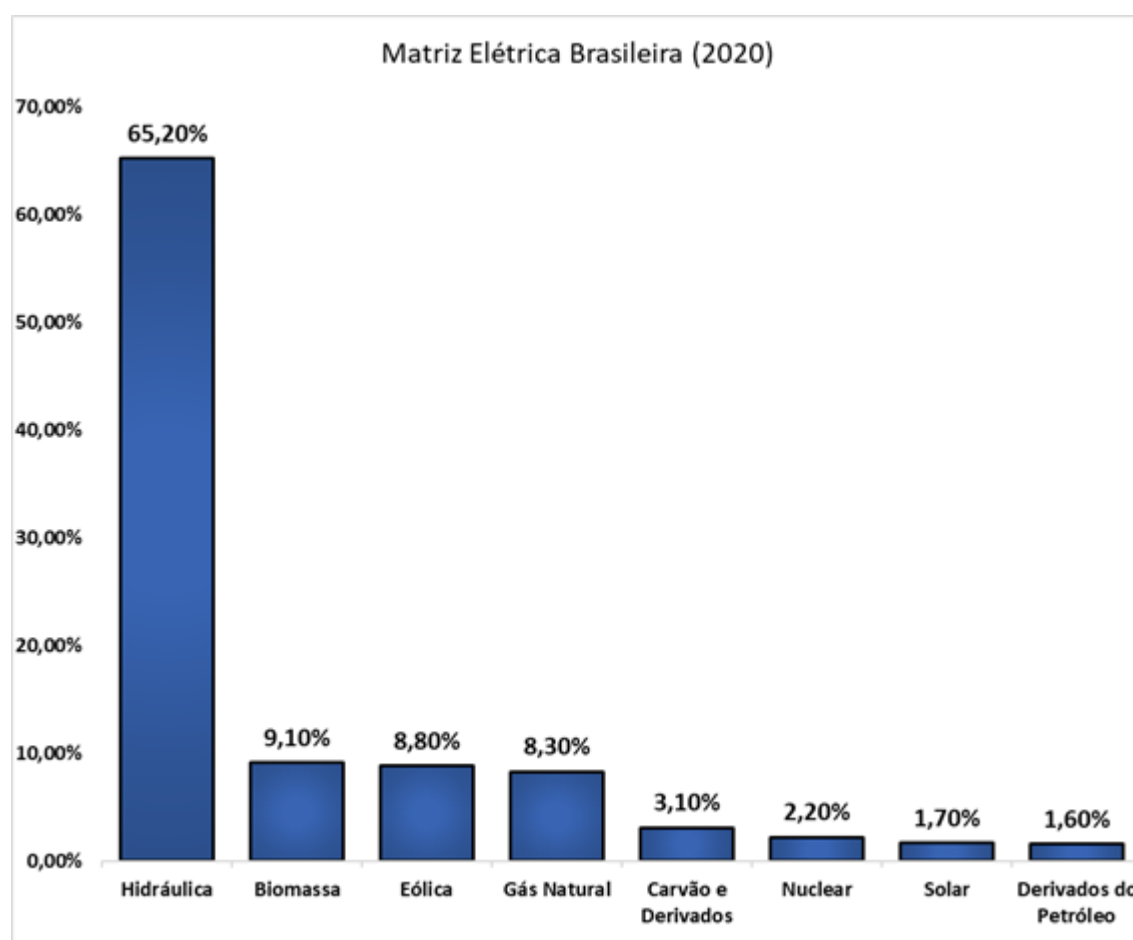
Fonte: (EPE, 2021)

É importante ressaltar que, apesar de representarem fontes renováveis de energia,

hidrelétricas e biomassa podem impactar negativamente o meio ambiente, seja pelo alagamento de áreas adjacentes às barragens (no caso de hidrelétricas) ou pelo eventual desmatamento e uso do solo (no caso da biomassa). Desta forma, não há associação absoluta entre matrizes renováveis e preservação do meio ambiente.

Diferentemente das matrizes renováveis anteriormente citadas, a energia solar, ao mesmo tempo que representa de fato uma fonte de energia limpa, apresenta baixíssima participação na geração de energia elétrica no Brasil (1,7 %), evidenciando um possível candidato para tornar a matriz elétrica brasileira ainda mais renovável e limpa. Exige-se, portanto, a necessidade de maiores análises sobre esse setor no que tange: potencial de geração de energia; oferta e demanda de painéis solares; preços vigentes; impactos ambientais e viabilidade de implantação.

Figura 2 – Matriz elétrica brasileira (2020)



Fonte: (EPE, 2021)

É importante ressaltar que, apesar de representarem fontes renováveis de energia, hidrelétricas e biomassa podem impactar negativamente o meio ambiente, seja pelo alagamento de áreas adjacentes às barragens (no caso de hidrelétricas) ou pelo eventual

desmatamento e uso do solo (no caso da biomassa). Desta forma, não há associação absoluta entre matrizes renováveis e preservação do meio ambiente.

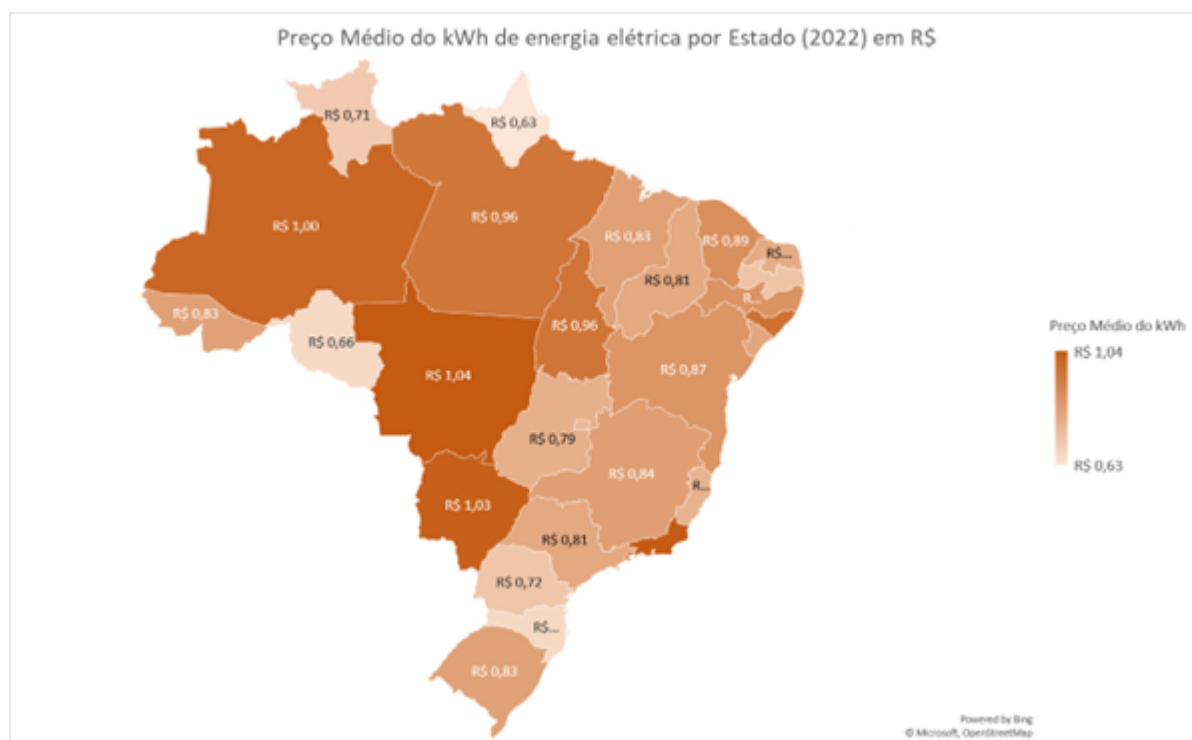
Diferentemente das matrizes renováveis anteriormente citadas, a energia solar, ao mesmo tempo que representa de fato uma fonte de energia limpa, apresenta baixíssima participação na geração de energia elétrica no Brasil (1,7%), evidenciando um possível candidato para tornar a matriz elétrica brasileira ainda mais renovável e limpa. Exigem-se, portanto, maiores análises sobre esse setor no que tange: potencial de geração de energia; oferta e demanda de painéis solares; preços vigentes; impactos ambientais e viabilidade de implantação.

2.2 DEMANDA E PREÇOS DA ENERGIA ELÉTRICA

Segundo dados da EPE, o consumo de energia elétrica residencial em 2021 somou quase 150 terawatt-hora, contando com o protagonismo da região sudeste, que representa mais de 45% do consumo nacional, seguida pelas regiões nordeste e sul, representando 21% e 16% do consumo nacional, respectivamente, com consumo anual per capita variando de 554 kWh na região Nordeste até 816 kWh no Centro-Oeste.

Quanto aos preços vigentes no mercado, não há uniformidade, visto que, além das diferentes tarifas de energia elétrica cobradas, o preço para o consumidor final está sujeito a encargos e tributos federais e estaduais, que também variam de acordo com a localização. Os preços médios ao consumidor final no ano de 2022 por estado estão expressos na Figura 3.

Figura 3 – Preço médio do kWh de energia elétrica por estado (2022) em reais

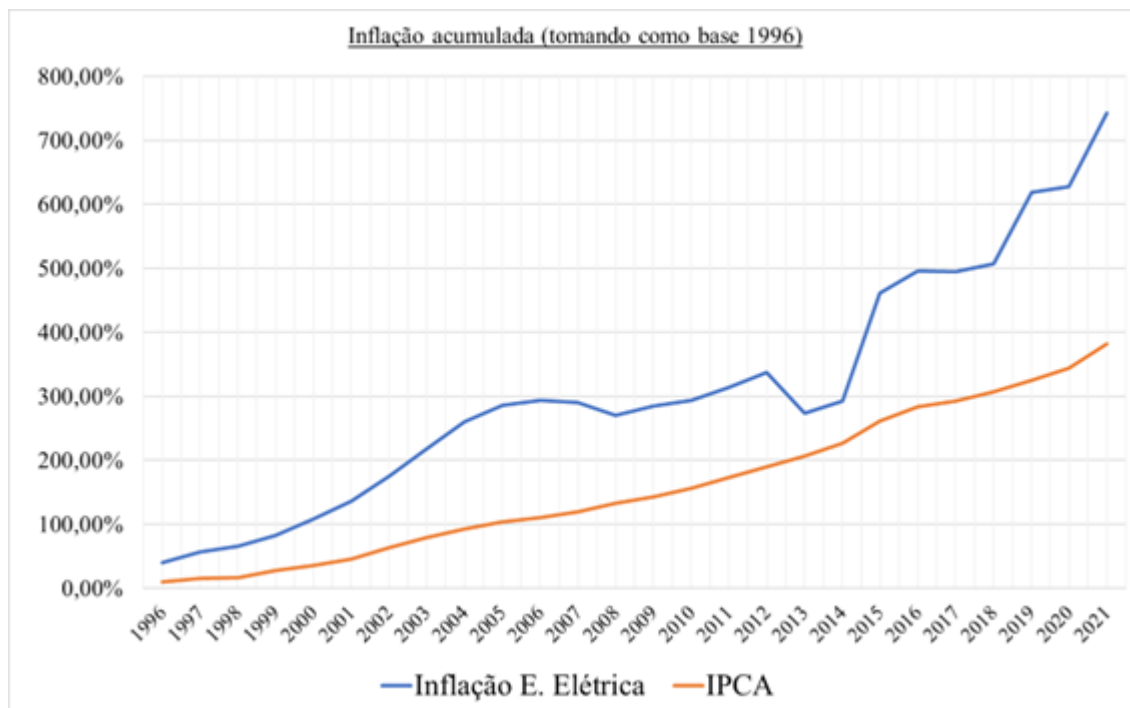


Fonte: (ANEEL, 2022)

2.3 INFLAÇÃO E AUMENTO DE PREÇOS DA ENERGIA ELÉTRICA

Embora a questão geográfica seja importante para o estudo de preços da energia elétrica residencial, o componente inflacionário também se mostra essencial para análises intertemporais e projeções. Sendo assim, comparando a evolução anual do preço da energia elétrica residencial a nível nacional com o Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), encontra-se a seguinte relação:

Figura 4 – Inflação acumulada de 1996 à 2021



Fonte: (BRASIL, 2021)

Embora a inflação da energia elétrica tenha sido menor que o IPCA em diversos anos consecutivos (2006-2014), em horizontes temporais mais abrangentes, fica clara a tendência de encarecimento acelerado da energia elétrica residencial quando comparado com o IPCA, conforme mostrado na Figura 4. Tal tendência mostrou-se ainda mais acentuada nos últimos anos de tal maneira que, entre 2019 e 2021, enquanto o índice de preços ao consumidor amplo apresentou aumento acumulado de 18,4%, a energia elétrica encareceu quase 39%.

Ainda que a análise anterior forneça informações relevantes sobre os preços do setor de energia elétrica no Brasil, revela-se insuficiente para realizar previsões ou projeções de como serão os preços no futuro breve, vista a complexa conjugação de fatores que influenciam e determinam tais valores. Destarte, este trabalho limitar-se-á a receber como variável exógena os índices referentes aos preços.

3 ENERGIA SOLAR NO BRASIL

3.1 FUNDAMENTOS TÉCNICOS E FUNCIONAMENTO

3.1.1 Funcionamento dos painéis solares

A base de geração de energia elétrica através da incidência de raios solares ocorre por meio dos painéis solares, também chamados de painéis fotovoltaicos. Os painéis solares têm como parte primordial um componente à base de silício (Si) chamado de célula fotovoltaica, que é envolvida por um encapsulante, protegida por uma camada de vidro emoldurado com alumínio e possui uma caixa de junção em uma de suas extremidades (Figura 5), portanto, Os principais componentes utilizados na fabricação dos painéis fotoelétricos são: Polissilício, polímeros diversos, vidro, alumínio e cobre. Ao entrar em contato com os painéis solares, os fótons provenientes do sol causam o desprendimento de elétrons das partículas presentes nas células fotovoltaicas, tais elétrons transitam unidirecionalmente, formando uma corrente elétrica. Desta forma, a geração de energia elétrica pelo sistema está diretamente relacionada à incidência de raios solares e será tão maior quanto mais intensa for essa, até o limite suportado pela placa. Estima-se que a vida útil das placas fotovoltaicas, dada a tecnologia atual, oscila entre 25 a 30 anos em operação.

Figura 5 – Composição do painel



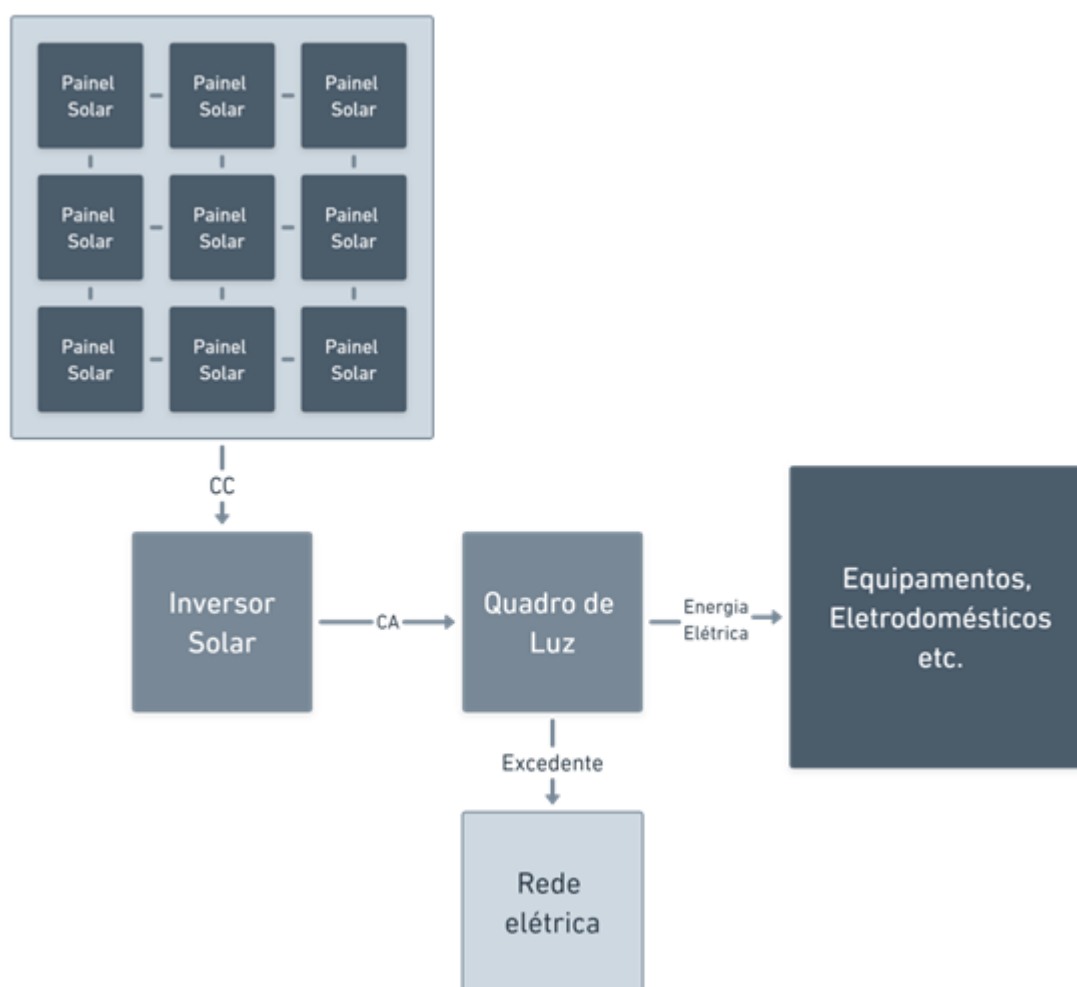
3.1.2 Integração com a rede elétrica residencial

A partir da corrente elétrica gerada pela interação entre as células fotovoltaicas e a luz solar (conforme explicado em 3.1.1), o sistema fotovoltaico (composto pelos painéis solares conectados uns aos outros) é ligado a um inversor solar, que transforma a corrente contínua proveniente do sistema em corrente alternada e envia para o “quadro de luz”

da instalação, que redistribui a energia gerada para todo o sistema elétrico. Eventuais sobras de energia (quando não se consome toda a energia gerada pelo sistema fotovoltaico instalado) são direcionadas para a rede elétrica e podem gerar uma espécie de “crédito de energia”, que pode significar abatimento em contas de energia futuras ou até mesmo recebimento em dinheiro pelo excedente gerado, a depender do caso.

Segue exemplo esquemático do modelo:

Figura 6 – Exemplo esquemático do modelo



3.2 SITUAÇÃO ATUAL DO SETOR NO BRASIL

Os principais agentes do mercado de energia solar podem se resumir aos fabricantes dos painéis solares (que transformam toda a matéria prima em células e painéis fotovoltaicos prontos para uso), os integradores (que são os responsáveis pela instalação dos painéis, integração com a rede elétrica e algumas vezes pela distribuição dos painéis), os consumidores finais (donos ou administradores dos locais em que serão instalados os sistemas

fotovoltaicos) e os financiadores (instituições que oferecem opções de financiamento tanto da compra quanto da instalação dos painéis).

Uma das mais recentes pesquisas envolvendo o setor em questão foi realizada pela empresa Greener entre 6 de junho de 2022 e 20 de julho de 2022 (Estudo Estratégico Geração Distribuída - Greener), englobando todo o território nacional. A partir do cruzamento dos resultados obtidos na pesquisa com os dados do relatório de Geração Distribuída ((GREENER, 2022)), obteve-se melhor contexto sobre a situação do setor de energia solar no Brasil.

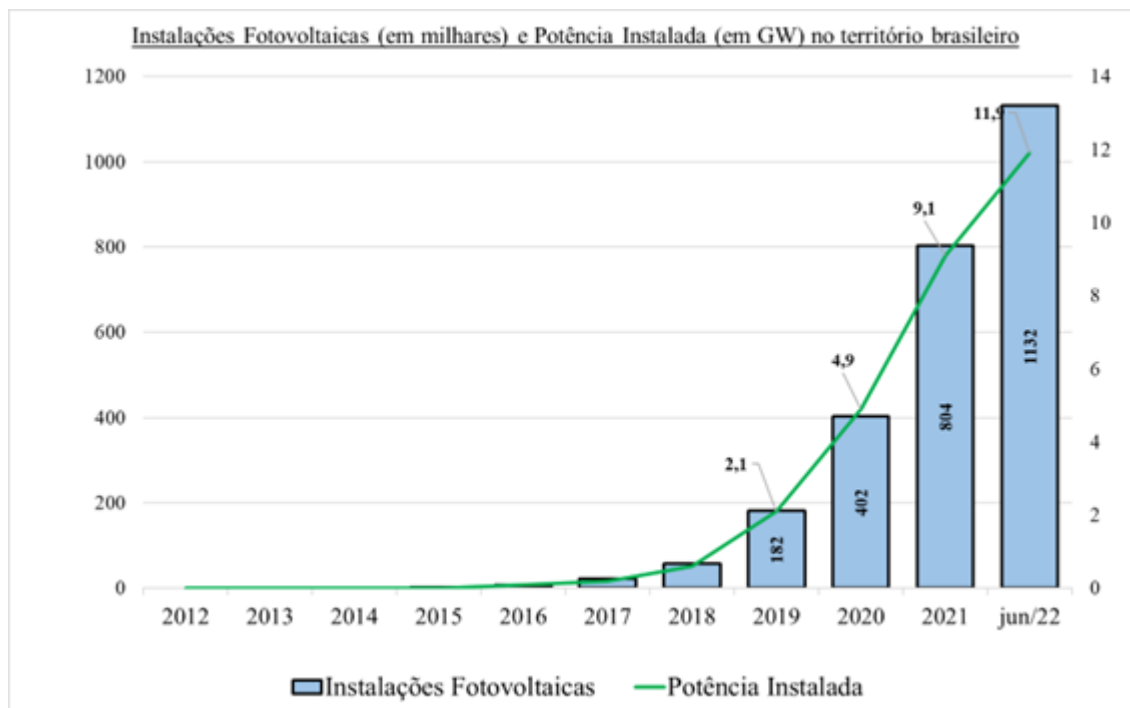
3.2.1 Oferta

Pelo lado da oferta (que inclui tanto os fabricantes quanto os integradores), segundo pesquisa de mercado realizada entre 6 de junho de 2022 e 20 de julho de 2022, a empresa Greener entrevistou 1579 empresas integradoras de portes, idades e localizações diferentes e levantou que mais de três quartos das empresas que responderam ao questionário foram fundadas há menos de 5 anos, evidenciando não só a falta de maturidade do setor, mas também o acelerado crescimento nos últimos anos. Pela mesma pesquisa, estimou-se que o subsetor de integradores solares empregue cerca de 192 mil colaboradores diretos, distribuídos em cerca de 26 mil empresas, sendo a grande maioria dessas (98%) de pequeno porte, com menos de 50 funcionários. A região responsável por sediar grande parte dessas empresas é a Sudeste, que comporta cerca de 45% dos ofertantes, seguida pelas regiões Nordeste e Sul, com 22% e 18%, respectivamente, tais proporções são bastante parecidas quando analisadas as 100 empresas que mais venderam no primeiro semestre de 2022: 43% sediadas na região Sudeste, 22% no Nordeste e 21% no Sul.

3.2.2 Demanda

Sob ótica da demanda, o número de instalações fotovoltaicas adicionadas à rede apresentou crescimento acelerado, passando de pouco mais de 182 mil em 2019 para mais de 1,1 milhão em junho de 2022. Em termos de potência instalada, passou-se de 2,1 gigawatts (GW) para 11,9 gigawatts (GW), conforme mostra a Figura 7 abaixo.

Figura 7 – Instalações fotovoltaicas

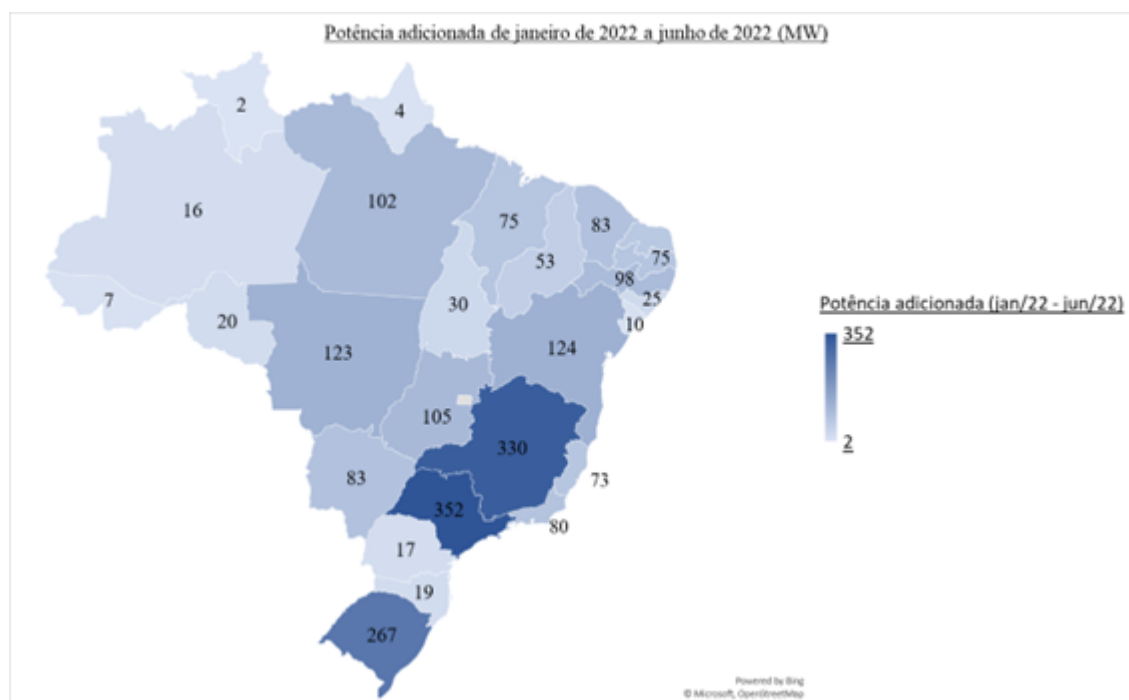


Fonte: (GREENER, 2022)

Desse montante de 1,1 milhão de instalações observadas em junho de 2022, cerca de 82% são residenciais, e essas são responsáveis pela produção de 6,7 gigawatts de energia elétrica (57% dos 11,9 GW). Embora as classes comercial e rural possuam baixa representatividade no número de instalações, devido à maior magnitude dos projetos, apresentam participação expressiva na produção de energia através de painéis solares, representando 23% e 14% da produção de 2022.

Assim como na oferta, no crescimento da demanda também há o protagonismo da região Sudeste, seguida pela região Nordeste (37,3% e 26% da potência adicionada entre janeiro de 2022 e junho de 2022, respectivamente), porém, aqui há maior participação da região Centro-Oeste, que recebeu mais de 15% de toda a potência adicionada no mesmo período.

Figura 8 – Potência adicionada de Janeiro a Junho

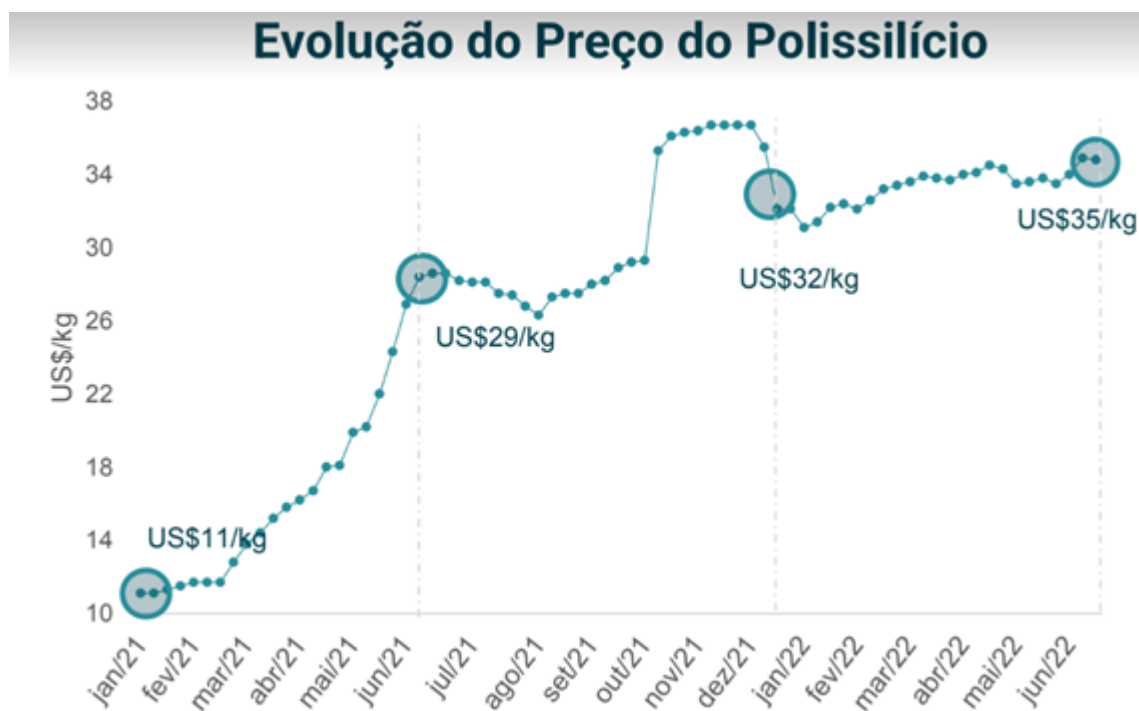


Fonte: (GREENER, 2022)

3.2.3 Preços

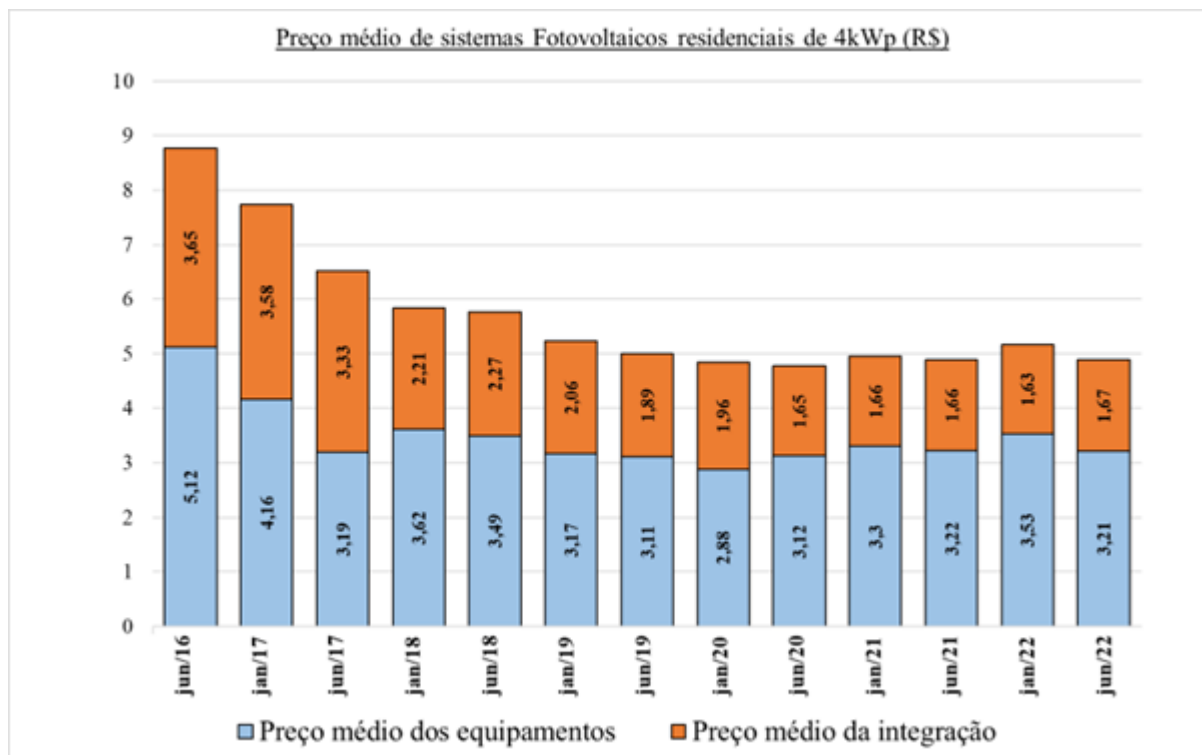
Mesmo com o aumento acelerado do preço do Polissilício (componente que representa 60% da estrutura de custo da fabricação dos painéis solares) nos últimos 2 anos (conforme mostra a Figura 9), forças de mercado (acúmulo de estoques e aumento da concorrência, principalmente) empurraram o preço dos kits fotovoltaicos para baixo, partindo de R\$3,85/Wp em janeiro de 2021 para R\$3,55/Wp em junho de 2022. O preço do watt-pico instalado varia consideravelmente com o tamanho do projeto, isto é, para o mesmo momento (junho de 2022), o watt-pico pode custar R\$3,55 em projetos menores (até 2kWp instalados) ao mesmo tempo que custa R\$2,55 em projetos de maiores magnitudes (5MWp instalados). Quanto aos serviços de integração, ao contrário do observado para os painéis, mantiveram preços constantes ou apresentaram ligeiro aumento desde o início de 2021. A Figura 10 abaixo mostra a evolução dos preços praticados para sistemas fotovoltaicos residenciais.

Figura 9 – Evolução do preço do Polissilício



Fonte: (GREENER, 2022)

Figura 10 – Preço médio de sistemas fotovoltaicos residenciais



Fonte: (GREENER, 2022)

3.2.4 Financiadores

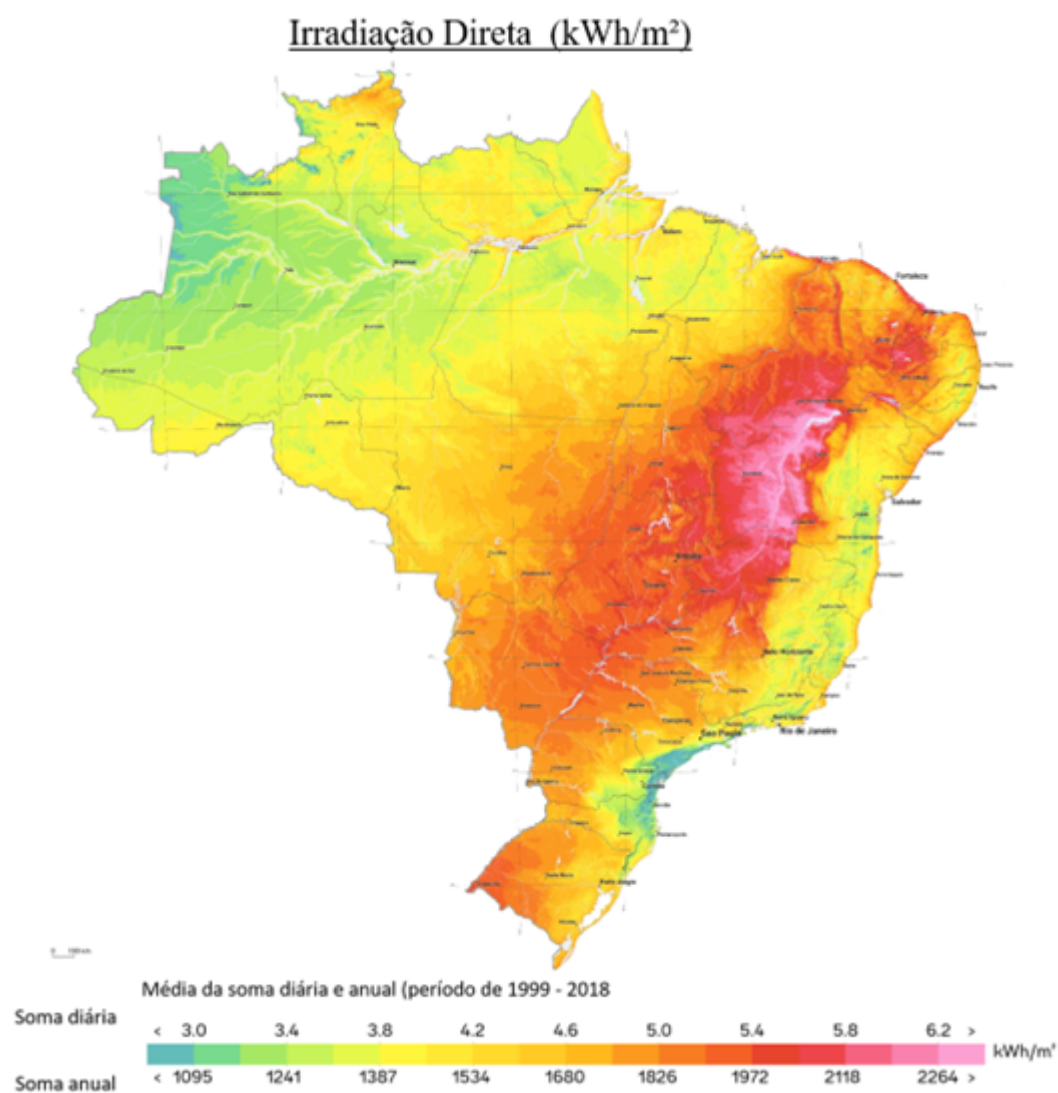
Quanto ao financiamento de painéis solares, foram encontradas 52 instituições financeiras que realizaram pelo menos 1 financiamento no primeiro semestre de 2022, dentre elas temos grandes nomes do mercado, como BV, Santander, Banco do Brasil, Bradesco e Caixa Econômica Federal. No mesmo período, 54% das vendas foram feitas através de financiamentos, mesmo com uma pequena queda em relação ao ano anterior (57% em 2021), o papel dos financiadores continua sendo crucial para os negócios do setor de energia solar.

3.3 INCIDÊNCIA DE IRRADIAÇÃO SOLAR NO TERRITÓRIO BRASILEIRO

Definida a importância do nível de irradiação solar na geração de energia do projeto solar, torna-se imprescindível a análise de tal fenômeno no território nacional. Cabe diferenciar, no entanto, dois diferentes tipos de incidência solar: Irradiação direta (quando os raios solares atingem a superfície da Terra sem sofrer espalhamento pela atmosfera); e Irradiação indireta (quando os raios solares atingem a superfície da Terra após sofrerem algum tipo de espalhamento, seja este refração ou reflexão). Visando analisar o potencial fotovoltaico das diferentes regiões brasileiras, a irradiação direta se mostra mais relevante

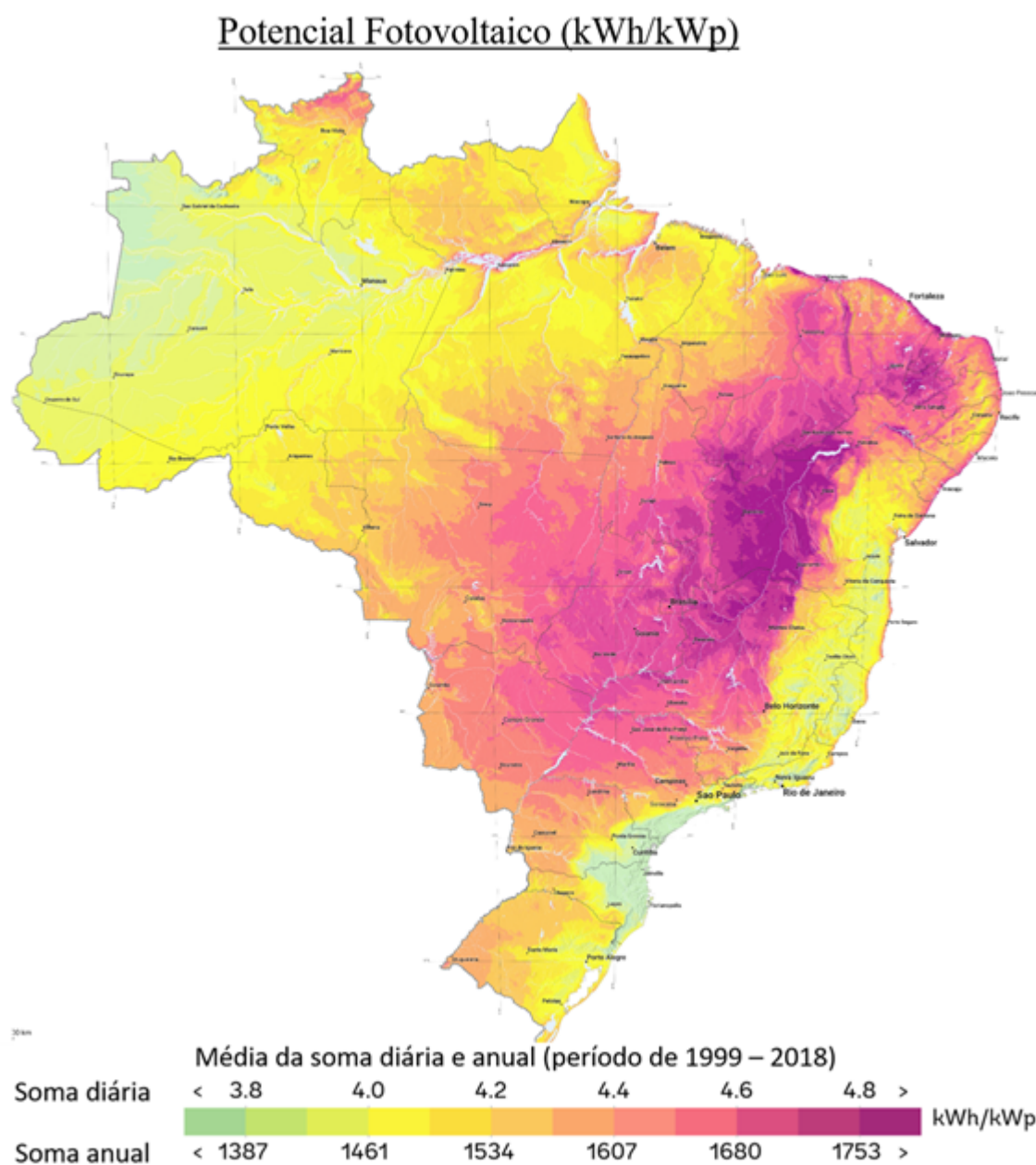
que a indireta. A Figura 11 e a Figura 12 abaixo mostram, respectivamente, o nível de irradiação direta e potencial fotovoltaico no território brasileiro:

Figura 11 – Irradiação direta



Fonte: (ATLAS, 2020)

Figura 12 – Potencial fotovoltaico



Fonte: (ATLAS, 2020)

Os gráficos anteriores, além de evidenciarem a correlação entre nível de irradiação direta e potencial fotovoltaico, destacam o grande potencial na região que abrange o eixo Centro-Oeste - Nordeste.

4 VIABILIDADE ECONÔMICA DE INSTALAÇÕES DE PAINÉIS FOTO-ELÉTRICOS

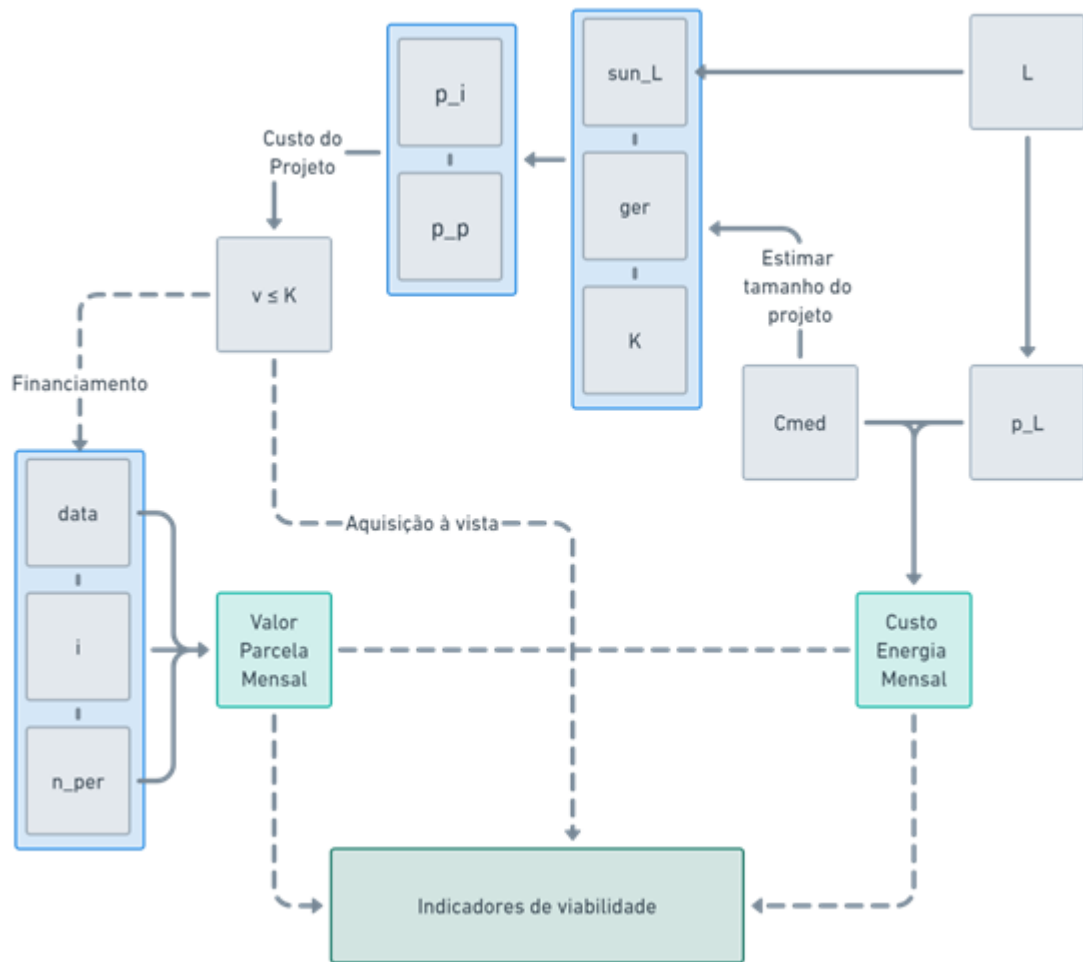
4.1 INTUIÇÃO E PREMISSAS

A criação de um modelo capaz de analisar a viabilidade econômica e financeira da instalação de painéis solares tem por objetivo, principalmente, fornecer diretrizes para a tomada de decisão sobre o investimento em painéis solares, tanto para fins de consumo próprio quanto para fins de consumo de terceiros, isto é, visando a venda ou repasse de energia gerada. Desta forma, para a obtenção dos indicadores de viabilidade econômica do projeto (presentes na tabela 1), faz-se necessário considerar as variáveis descritas na tabela 2.

4.2 MODELAGEM

A modelagem econômica e financeira aqui proposta parte do cruzamento de variáveis da seguinte forma: A partir do preço da energia elétrica na localização do projeto (p_L) e do consumo mensal médio de energia elétrica (c_{med}), obtém-se o custo médio mensal de energia, ou, em outras palavras, o preço da conta de luz. Prossegue-se estipulando uma referência ou meta de geração de energia, que pode ser próxima do consumo médio mensal (c_{med}) (nos casos cuja finalidade é o consumo próprio) ou maior (nos casos que visam geração de excedente), possibilitando, a partir do cruzamento com os dados de níveis de irradiação solar média para o município informado (L), estimar o tamanho de um projeto capaz de satisfazer a produção desejada. Finalmente, com base nos preços das placas e da instalação, é possível calcular o custo do projeto (v) e se este respeita ou não a restrição orçamentária (K). A partir da obtenção do custo do projeto, há a possibilidade de aquisição à vista ou de financiamento, onde o custo do projeto (v) é financiado (v_f) em um prazo definido (n_{per}) sujeito à cobrança de juros (i).

Figura 13 – Modelo esquemático

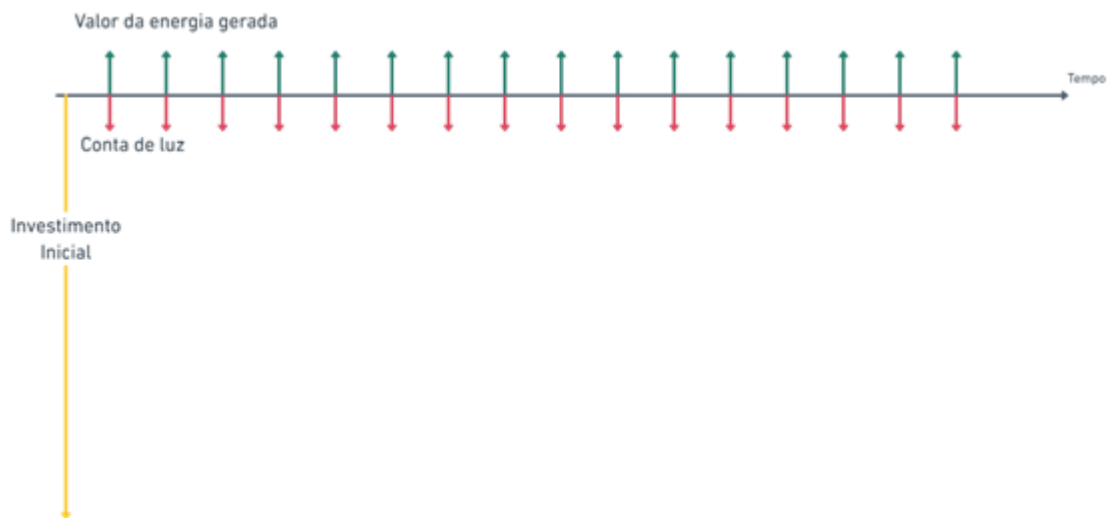


Uma vez definidos os parâmetros do projeto, é possível projetar o fluxo de caixa futuro e estimar os indicadores financeiros desejados, porém, convém diferenciar projetos à vista de financiados.

4.2.0.1 Aquisição à vista

Projetos com aquisição à vista apresentarão grande investimento inicial e retornos modestos porém recorrentes, retornos estes proporcionais à quantia de energia gerada e o preço da mesma. O fluxo de caixa nesses casos possuirá o seguinte formato:

Figura 14 – Exemplo simplificado de Fluxo de Caixa em caso de aquisição à vista



Seta amarela indica o Investimento Inicial para a realização do projeto, as setas verdes indicam o valor da energia elétrica gerada no mês e as setas vermelhas indicam as contas de luz mensais.

É importante ressaltar que, em termos práticos, o fluxo de caixa real dos projetos não apresentará as setas verdes e vermelhas separadamente, visto que o valor da energia gerada servirá para abater parcial ou integralmente o valor das contas de luz. Em casos onde não se consome toda a energia gerada, o excedente é enviado à rede de transmissão e gera créditos ao proprietário (no modelo simplificado, o valor do crédito equivale ao preço da energia excedente). Para fins de comparação, segue ilustração do mesmo exemplo em caso de ausência do projeto de energia solar:

Figura 15 – Exemplo simplificado de Fluxo de Caixa em caso de ausência de projeto.



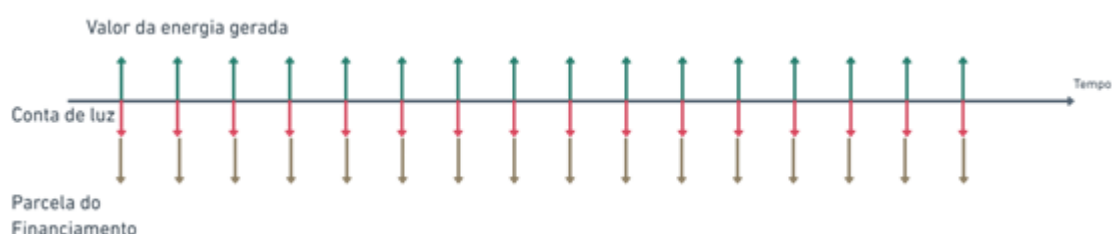
Setas vermelhas indicam as contas de luz mensais.

Pode-se, portanto, simplificar ainda mais o modelo apresentado, assumindo que toda e somente a energia gerada é consumida, de modo que as setas verdes anulem as vermelhas e vice-versa. Sendo assim, o efeito prático do projeto se resume a investir o montante inicial para se livrar do pagamento mensal das contas de energia elétrica até que a vida útil do sistema fotoelétrico acabe.

4.2.0.2 Financiamento

Projetos financiados seguem a mesma lógica, porém apresentam diferenças no seu fluxo de caixa, que possuirá o seguinte formato:

Figura 16 – Exemplo simplificado de Fluxo de Caixa em caso de financiamento.



Setas verdes indicam o valor da energia elétrica gerada no mês, setas vermelhas indicam as contas de luz mensais e as setas marrons indicam o valor das prestações mensais do financiamento.

Se nos projetos à vista existia o grande investimento inicial, nos financiamentos esse dá lugar às prestações mensais. Assumindo a mesma simplificação dos projetos à vista, o efeito prático do projeto financiado se resume a substituir o pagamento das contas mensais de energia elétrica pelo pagamento das prestações do financiamento até a quitação integral do contrato, após tal período, acabam-se as prestações e as contas de energias continuarão abatidas até que a vida útil do sistema fotoelétrico acabe.

4.2.1 Simulador

Esclarecidos os fundamentos do modelo de análise, as seguintes subseções visam especificar e detalhar a construção e funcionamento do Simulador.

4.2.1.1 Plataforma e base de dados

A plataforma escolhida para a construção do simulador foi o Microsoft Office Excel (versão Office 365), onde nele foram incluídas as seguintes bases de dados:

- Global Photovoltaic Power Potential by Country (Global Solar Atlas, Junho 2020); (ATLAS, 2020)
- World - Direct Normal Irradiation (Global Solar Atlas, Maio 2020); (ATLAS, 2020)
- Balanço Energético Nacional - Séries Históricas e Matrizes 1970 - 2021 (Empresa de Pesquisa Energética); (EPE, s.d.)
- Consumo de energia elétrica - Brasil - Residencial (BCB - Cód.1403);
- Índice nacional de preços ao consumidor (INPC) (BCB - Cód.188);

- Índice nacional de preços ao consumidor-amplo (IPCA) (BCB - Cód.433);
- Histórico de Tarifas de Energia Elétrica Médias 1995 - 2021 (ATLAS, 2021)

4.2.1.2 Cálculos e tratamentos de variáveis

Partindo do modelo apresentado, incluir-se-ão, das bases de dados citadas, as variáveis econômicas que não dizem respeito ao funcionamento do modelo propriamente dito, mas aprimoram e adicionam precisão no cálculo das simulações, são essas: Índice de inflação de preço (inf); Taxa de ajuste do preço da energia elétrica em relação ao índice de inflação escolhido (taj); média da energia mensal gerada por kWp instalado na localização L (sun_L); mês de início do projeto (data); preço de integração em relação ao preço do painel solar (p_i) e preço de venda da energia excedente em relação a p_L (p_v). Desta forma, visa-se encontrar os indicadores econômico-financeiros da viabilidade dos projetos descritos na Tabela 1, presente abaixo.

Tabela 1 – Indicadores de viabilidade econômica do projeto.

Representação	Nome/Definição	Unidade de medida
PRI	Prazo de retorno do investimento: tempo necessário para que o total investido seja recuperado em forma de rendimentos ou receitas	meses
Eco_n	Diferença acumulada entre o fluxo de caixa com, e sem o projeto, desde o início do projeto até o ano n	R\$

Tabela 2 – Variáveis e Parâmetros

Representação	Nome/Definição	Unidade de medida
Variáveis do projeto		
K	Capital disponível: Valor máximo disponível para investimento	R\$
Cmed	Consumo mensal médio de energia elétrica	kWh
ger	Meta de geração de energia elétrica mensal	kWh
L	Código IBGE do Município da instalação dos painéis solares	-
data	Mês da aquisição ou financiamento do projeto -	
Variáveis adicionais em caso de Financiamento dos painéis		
i	Taxa de juros do contrato de financiamento dos painéis	% a.m.
nper	Prazo do contrato de financiamento dos painéis	meses
Variáveis exógenas do mercado		
inf	Índice de inflação anual de livre escolha	% a.a.
taj	Variação do preço da energia elétrica em relação à inflação escolhida	%
p_L	Preço atual da energia elétrica na localização L	R\$/kWh
p_p	Preço proporcional de painéis solares com potência de 1 kWp	R\$.
p_i	Preço de integração em relação ao preço do painel solar	%
p_v	Preço de venda da energia excedente em relação a p_L	%
Parâmetros fixos		
sum_L	Média da energia mensal gerada por kWp instalado na localização L	kWh/kWp

4.2.1.3 Suposições e limitações do Simulador

Todas as variáveis supracitadas são inputs do usuário, isto é, assumem o valor escolhido pelo usuário, o mesmo não ocorre com o parâmetro que relaciona irradiação solar com produção de energia elétrica (sun_L), que assume, de maneira fixa, o valor presente na base de dados World - Direct Normal Irradiation ((ATLAS, 2020)) para a localização L.

Ademais, foram desconsideradas quaisquer possíveis limitações por parte do sistema elétrico instalado na residência que venham prejudicar o pleno funcionamento do projeto solar e, para todos os cálculos mencionados, foram consideradas condições ideais de funcionamento dos painéis solares, assim como irradiação constante ao longo do ano.

4.2.1.4 Interpretação dos Resultados obtidos

O Simulador fornecerá, além do fluxo de caixa projetado para os próximos 120 meses, os indicadores de viabilidade dos projetos em cenário de aquisição à vista e financiado. o indicador denominado de “PRI” representa a quantidade de meses em que o resultado acumulado é nulo, isto é, quando o investimento nominal do projeto será integralmente recuperado (caso o valor conste como “-”, o investimento não será integralmente recuperado

no horizonte de 10 anos). Sobre os indicadores de Economia ao final do n -ésimo ano (Eco- n), será expressa a diferença entre os resultados nominais financeiros acumulados do caso em questão e os resultados acumulados na ausência do projeto.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Relatório ANEEL 2022**. [*S.l.: s.n.*], 2022.

<https://dadosabertos.aneel.gov.br/>.

ATLAS, Global Solar. **Direct Normal Irradiation**. [*S.l.: s.n.*], 2020.

<https://energydata.info/dataset/world-direct-normal-irradiation-dni-gis-data-global-solar-atlas>.

ATLAS, Global Solar. **Histórico de Tarifas de Energia Elétrica Médias 1995 - 2021**. [*S.l.: s.n.*], 2021.

<https://energydata.info/dataset/world-direct-normal-irradiation-dni-gis-data-global-solar-atlas>,

BRASIL, Banco Central do. **Série histórica de inflação acumulada (1996-2021)**.

[*S.l.: s.n.*], 2021. <https://www3.bcb.gov.br/sgspub/localizarseries/localizarSeries.do?method=prepararTelaLocalizarSeries>.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2021**. [*S.l.: s.n.*], 2021.

<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>.

EPE. **BEN - Series históricas e matrizes**. [*S.l.: s.n.*], 2021.

<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>. Online; accessed 03 November 2022.

GREENER. **Relatório de Geração Distribuída**. [*S.l.: s.n.*], 2022.

<https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/relacao-de-empreendimentos-de-geracao-distribuida>.

APÊNDICE A – Guia de uso do simulador

O Simulador está disponível para Download no seguinte endereço: <https://drive.google.com/uc?export=download&id=1qRev9UhnMb7xrnO1k5KHhua3aTRc28lv> Após abrir o arquivo utilizando o Software Microsoft Excel (versão 365), controle os valores das variáveis a partir das células destacadas em amarelo da aba denominada “Simulador”, conforme mostrado na imagem abaixo:

Figura 17 – Interface da tabela de variáveis do projeto.

Sigla	Nome da variável	Valor	Unidade de medida
Variáveis do Projeto			
K	Capital Disponível		R\$
Cmed	Consumo mensal médio de energia elétrica		kWh
ger	Meta de geração de energia elétrica mensal		kWh
L	Código IBGE do Município da instalação dos painéis solares		-
data	Mês da aquisição ou financiamento do projeto		-
Variáveis de mercado			
inf	Índice de inflação de livre escolha		%a.a
taj	Variação do preço da energia elétrica em relação ao índice de inflação escolhido		%
p_L	Preço atual do kWh de energia elétrica na localização L		R\$/kWh
p_p	Preço proporcional de painéis solares com potência de 1kWp		R\$
p_i	Preço de integração em relação ao preço do painel solar		%
p_v	Preço de venda da energia excedente em relação a p_L		%
Variáveis de Financiamento			
i	Taxa de juros do contrato de financiamento dos painéis		%a.m.
nper	Prazo do contrato de financiamento dos painéis		meses
Parâmetros Fixos			
sun_L	Média da energia mensal gerada por kWp instalado na localização L		kWh/kWp

Fornecendo os valores de todas as variáveis requisitadas pelo modelo (o valor da variável L pode ser encontrada a partir desse endereço: <https://www.ibge.gov.br/explica/codigos-dos-municipios.php>), duas tabelas serão geradas automaticamente: Fluxo de Caixa e Resultados acumulados (ambas contemplando os próximos 120 meses a partir do início do projeto) para três diferentes situações: Projeto de aquisição à vista; Projeto financiado; e Ausência de projeto. Ademais, também será gerado automaticamente um gráfico representativo dos resultados acumulados para as três situações previamente descritas.

Os indicadores de viabilidade econômica e financeira serão apresentados no intervalo das células G15:N18.

APÊNDICE B – Exemplo ilustrativo do Simulador

Realizando uma simulação com os seguintes critérios: Disponibilidade de capital de R\$15mil; consumo médio mensal de energia elétrica de 200kWh; projeto com geração alvo de 300kWh situado no município de São Paulo; iniciado em janeiro de 2023; num contexto de inflação anual de 5%, onde a energia elétrica apresenta aumento de preços de 150% da inflação geral (seguindo tendência observada nos últimos anos); o preço cobrado pelo kWh de energia elétrica consumida é de R\$1,00; o preço dos painéis instalados é de R\$3.400 a cada 1kWp; o custo de integração é de 25% do preço dos painéis; a energia excedente pode ser vendida a 80% do valor do preço da energia consumida; e há opção de financiamento em 48 meses, sujeito à taxa de 1% ao mês. Para esse cenário, completa-se a tabela de variáveis da seguinte forma:

Figura 18 – Exemplo da tabela de variáveis do projeto

Sigla	Nome da variável	Valor	Unidade de medida
Variáveis do Projeto			
K	Capital Disponível	R\$ 15.000,00	R\$
Cmed	Consumo mensal médio de energia elétrica	200	kWh
ger	Meta de geração de energia elétrica mensal	300	kWh
L	Código IBGE do Município da instalação dos painéis solares	3550308	-
data	Mês da aquisição ou financiamento do projeto	jan-23	-
Variáveis de mercado			
inf	Índice de inflação de livre escolha	5%	%a.a
taj	Variação do preço da energia elétrica em relação ao índice de inflação escolhido	150%	%
p_L	Preço atual do kWh de energia elétrica na localização L	1	R\$/kWh
p_p	Preço proporcional de painéis solares com potência de 1kWp	R\$ 3.400,00	R\$
p_i	Preço de integração em relação ao preço do painel solar	25%	%
p_v	Preço de venda da energia excedente em relação a p_L	80%	%
Variáveis de Financiamento			
i	Taxa de juros do contrato de financiamento dos painéis	1%	%a.m.
nper	Prazo do contrato de financiamento dos painéis	48	meses
Parâmetros Fixos			
sun_L	Média da energia mensal gerada por kWp instalado na localização	121,45	kWh/kWp

Os indicadores financeiros para o cenário descrito são os seguintes:

Figura 19 – Tabela dos indicadores financeiros do projeto.

Indicadores:							
	PRI	Eco_1	Eco_2	Eco_3	Eco_4	Eco_5	Eco_10
Aquisição à vista	97º mês	-R\$ 6.803,59	-R\$ 3.046,47	R\$ 992,43	R\$ 5.334,25	R\$ 10.001,70	R\$ 39.145,38
Financiamento	116º mês	R\$ 180,91	R\$ 620,41	R\$ 1.341,70	R\$ 2.365,90	R\$ 7.033,36	R\$ 36.177,03

Desta forma, tal projeto, caso adquirido à vista, geraria retorno nominal equivalente ao montante investido inicialmente no nonagésimo sétimo mês. Em caso de financiamento, esse mesmo projeto só recuperaria o volume investido no centésimo décimo sexto mês.