

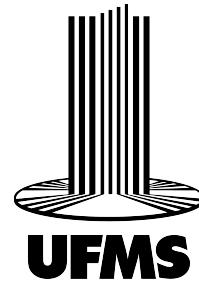
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

## **Análise Estatística Das Gerações Distribuídas No Mato Grosso Do Sul**

**Leonardo Gabriel Dias**

Campo Grande - MS

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

## **Análise Estatística Das Gerações Distribuídas No Mato Grosso Do Sul**

Leonardo Gabriel Dias

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como exigência para obtenção do grau de Ba-  
charelado em Engenharia Elétrica da Universi-  
dade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.

Orientador: Prof. Dr. Luigi Galotto Júnior

Campo Grande - MS  
2025



## Análise Estatística das Gerações Distribuídas e no Mato Grosso Do Sul

Leonardo Gabriel Dias

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS considerado **aprovado**.

### Banca examinadora:

Prof. Dr. Luigi Galotto Junior (Orientador)

Prof. Dr. Frederico Silva Moreira

Eng. Rafael Barreto Braga

Campo Grande, 5 de dezembro de 2025.

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

\*\*\*\*\*  
**UFMS**  
**É 10!!!**  
\*\*\*\*\*



Documento assinado eletronicamente por **Luigi Galotto Junior, Professor do Magisterio Superior**, em 05/12/2025, às 09:35, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

\*\*\*\*\*  
**UFMS**  
**É 10!!!**  
\*\*\*\*\*



Documento assinado eletronicamente por **Frederico Silva Moreira, Professor do Magisterio Superior**, em 05/12/2025, às 09:36, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

\*\*\*\*\*  
**UFMS**  
**É 10!!!**  
\*\*\*\*\*



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Barreto Braga, Usuário Externo**, em 05/12/2025, às 09:37, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufms.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **6092115** e o código CRC **EA9F648D**.

## FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

# Agradecimentos

A Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança em todos os momentos desta caminhada acadêmica. Sem Sua presença e misericórdia, nada disso seria possível.

Aos meus pais, Pedro Dias e Cíntia Nara Machado Dias, pelo amor incondicional, apoio contínuo e por sempre acreditarem no meu potencial. À minha irmã, Fernanda Gabriela Dias, pela cumplicidade, incentivo e por estar sempre ao meu lado. Estendo também minha gratidão a todos os meus familiares, que vibraram e torceram pelo meu sucesso ao longo desta jornada.

Aos amigos de graduação, Guilherme Augusto e Mateus Flores, pela parceria, companheirismo e pela presença constante nos desafios e conquistas da faculdade. Cada conversa, estudo e incentivo contribuíram de forma significativa para a conclusão deste trabalho.

Agradeço ao professor Luigi Galloto, que não mediu esforços para auxiliar no desenvolvimento deste trabalho, oferecendo orientação, disponibilidade e apoio constante ao longo de todo o processo.

A todos que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para esta etapa tão importante da minha vida, deixo aqui meu sincero agradecimento.

# Resumo

Este Trabalho de Conclusão de Curso apresenta uma análise estatística da evolução da Geração Distribuída no estado do Mato Grosso do Sul, com ênfase nos sistemas fotovoltaicos enquadrados como Micro e Minigeração Distribuída. A investigação utiliza uma base histórica composta por dados de potência instalada, quantidade de conexões e comportamento mensal das solicitações de acesso entre 2018 e 2025, complementada por séries de preços de sistemas fotovoltaicos de diferentes portes. O estudo incorpora, ainda, a avaliação dos principais marcos regulatórios que influenciaram o setor, incluindo a REN nº 482/2012, a REN nº 687/2015, a Lei nº 14.300/2022 e, de modo especial, a revisão do Art. 73 da REN nº 1.000/2021 pela REN nº 1.098/2024, que passou a exigir estudos de inversão de fluxo para novos acessantes. A partir desses marcos, foram identificadas alterações no comportamento temporal das curvas de crescimento de Micro e Mini GD, possibilitando a construção de modelos matemáticos baseados em tendências lineares do tipo piecewise e em efeitos de variáveis dummies regulatórias. A metodologia proposta abrange a interpretação de curvas acumuladas, a análise de inflexões associadas à atuação regulatória e a elaboração de projeções até 2028 para potência instalada e número de conexões, fundamentadas em tendências históricas e nos efeitos esperados das normas setoriais. O estudo busca fornecer uma visão integrada entre aspectos técnicos do sistema elétrico, evolução normativa e comportamento estatístico das conexões de Geração Distribuída no estado.

**Palavras-chaves:** Geração Distribuída; Análise Estatística; Marcos Regulatórios; Microgeração; Minigeração; Distribuidoras.

# Abstract

This Final Undergraduate Project presents a statistical analysis of the evolution of Distributed Generation in the state of Mato Grosso do Sul, with emphasis on photovoltaic systems classified as Micro and Mini Distributed Generation. The investigation is based on a historical dataset composed of installed capacity, number of connections, and the monthly behavior of access requests between 2018 and 2025, complemented by price series for photovoltaic systems of different scales. The study also includes an assessment of the main regulatory milestones that have shaped the sector, such as ANEEL Resolution No. 482/2012, Resolution No. 687/2015, Law No. 14,300/2022, and, in particular, the revision of Article 73 of Resolution No. 1,000/2021 by Resolution No. 1,098/2024, which introduced the requirement for reverse power-flow studies for new applicants. Based on these regulatory changes, shifts were identified in the temporal behavior of Micro and Mini DG growth curves, enabling the construction of mathematical models based on piecewise linear trends and regulatory dummy variables. The proposed methodology includes the interpretation of cumulative curves, the analysis of inflection points associated with regulatory actions, and the development of projections through 2028 for installed capacity and number of connections, grounded in historical trends and the expected effects of sectoral regulations. The study aims to provide an integrated perspective linking technical aspects of the electrical system, regulatory evolution, and the statistical behavior of Distributed Generation connections in the state.

**Keywords:** Distributed Generation; Statistical Analysis; Regulatory Milestones; Microgeneration; Minigeneration; Distribution Systems.

# Lista de ilustrações

Figura 1 –	Potência instalada de MMGD em GW no Brasil . . . . .	11
Figura 2 –	Potência instalada de MMGD em MW no Mato Grosso do Sul . . .	12
Figura 3 –	Área de Concessão da Distribuidora Energisa Mato Grosso do Sul .	14
Figura 4 –	Fluxo Convencional e Fluxo Inverso de Potência . . . . .	21
Figura 5 –	Evolução da Potência Instalada de MMGD no MS . . . . .	24
Figura 6 –	Evolução mensal das solicitações de Microgeração com indicação da REN 1.059/2023. . . . .	25
Figura 7 –	Evolução mensal das solicitações de Minigeração com indicação da REN 1.059/2023. . . . .	26
Figura 8 –	Evolução das Conexões Anuais de Microgeração com Marco Regulatório. . . . .	27
Figura 9 –	Evolução das Conexões de Minigeração com Marco Regulatório. . .	28
Figura 10 –	Evolução do preço médio do sistema de 4 kWp, em R\$/Wp . . . .	29
Figura 11 –	Evolução do preço médio do sistema de 50 kWp, em R\$/Wp . . . .	30
Figura 12 –	Evolução do preço médio do sistema de 1 MWp, em R\$/Wp . . . .	30
Figura 13 –	Mapa GD - Situação da Inversão de Fluxo de Potência nas Subestações de Distribuição . . . . .	32
Figura 14 –	Projeção da potência mensal conectada da Minigeração . . . . .	34
Figura 15 –	Projeção mensal da potência conectada da Microgeração . . . . .	35
Figura 16 –	Projeção mensal conjunta da potência conectada de MMGD . . . .	36
Figura 17 –	Potência acumulada de GD no estado — histórico e projeção até 2028 . . . . .	37
Figura 18 –	Crescimento percentual anual da Minigeração . . . . .	37
Figura 19 –	Crescimento percentual anual da Microgeração . . . . .	38

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Ranking das Distribuidoras por Quantidade de Geração Distribuída (GD) . . . . .	13
--	----

# Lista de abreviaturas e siglas

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
GD	Geração Distribuída
GD I	Primeiro ciclo regulatório de GD
GD II	Segundo ciclo regulatório de GD
GD III	Terceiro ciclo regulatório de GD
MMGD	Micro e Minigeração Distribuída
MICROGD	Microgeração Distribuída
MINIGD	Minigeração Distribuída
REN	Resolução Normativa
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TUSD Fio A	Componente tarifário correspondente às funções de transmissão dentro da TUSD
TUSD Fio B	Componente tarifário referente ao uso do sistema de distribuição
TE	Tarifa de Energia
TUSD P&D	Componente da TUSD destinado a Pesquisa e Desenvolvimento
TUSD TFSEE	Encargo do Sistema utilizado para cobrir despesas da Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica
EMUCs	Unidades Consumidoras Virtualmente Agrupadas
kW	Quilowatt
MW	Megawatt

# Sumário

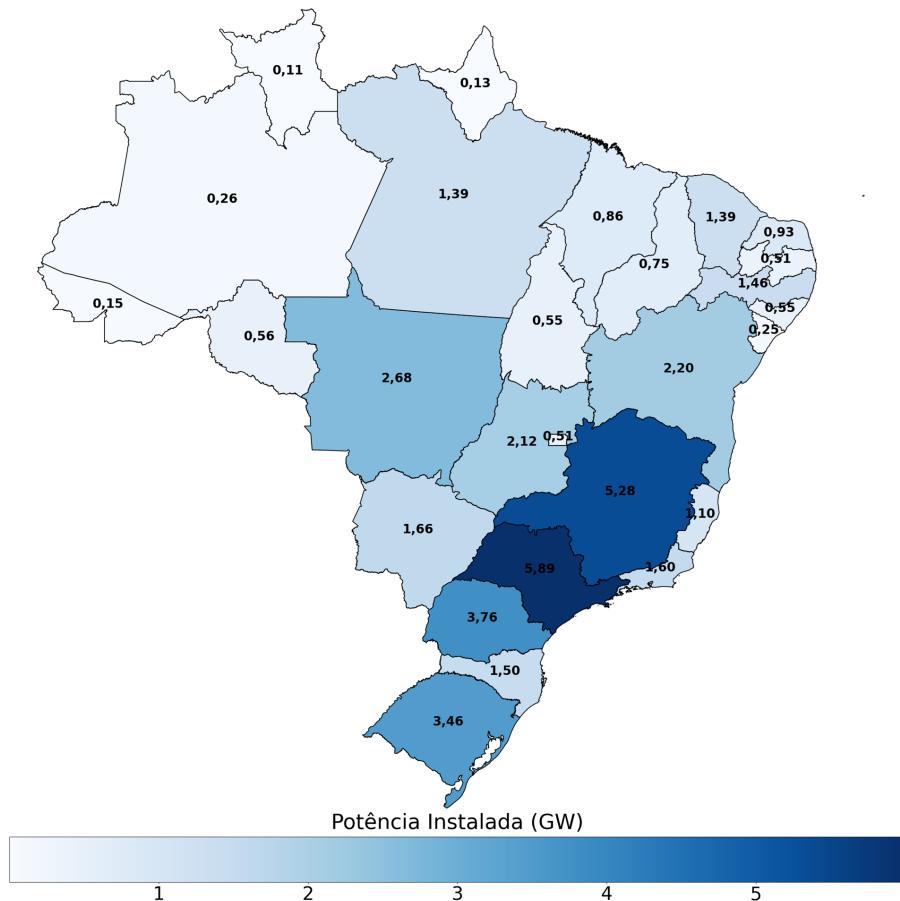
<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>10</b>
1.1	Revisão Bibliográfica do Estado da Arte	15
1.2	Objetivos	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
1.3	Organização do Trabalho (Resumo dos capítulos)	16
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>18</b>
2.1	Microgeração e Minigeração Distribuída	18
2.2	Marco Legal da Micro e Minigeração Distribuída: Lei nº 14.300/2022	19
2.3	Classificação da Geração Distribuída: GD I, GD II e GD III	19
2.4	Inversão de Fluxo	21
2.5	Projeções e Análise Estatística	22
<b>3</b>	<b>Desenvolvimento da Geração Distribuída: Aspectos Técnicos e Regulatórios</b>	<b>23</b>
3.1	Análise Temporal da Potência Instalada	23
3.2	Análise Temporal das Solicitações de Microgeração e Minigeração Distribuída	24
3.3	Evolução das Conexões de Geração Distribuída: Análise dos Marcos Regulatórios	26
3.4	Análise da Evolução dos Preços dos Sistemas Fotovoltaicos (2017–2025)	28
3.5	Condições Técnicas do Sistema Elétrico para Inserção de Geração Distribuída	31
<b>4</b>	<b>Modelagem e Projeções da Geração Distribuída</b>	<b>33</b>
4.1	Projeção do Comportamento Futuro da Microgeração e Minigeração	33
4.2	Projeção da Potência Acumulada de Geração Distribuída no Estado	36
4.3	Crescimento percentual anual da Minigeração	37
4.4	Crescimento percentual anual da Microgeração	38
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>39</b>
<b>Referências</b>		<b>41</b>

# 1 Introdução

O sistema elétrico mundial encontra-se em um período de transição marcado por profundas transformações estruturais, impulsionadas principalmente pela busca pela descarbonização da matriz energética. A crescente preocupação com as mudanças climáticas e a necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis têm estimulado a adoção de políticas voltadas à sustentabilidade e eficiência energética. Nesse contexto, a geração distribuída (GD) tem se consolidado como uma alternativa relevante, promovendo a diversificação das fontes de energia e a inserção de recursos renováveis, como a geração fotovoltaica, diretamente nos sistemas elétricos de distribuição (IRENA, 2019).

A [Figura 1](#) apresenta a distribuição da potência instalada de Micro e Minigeração Distribuída no Brasil, evidenciando diferenças regionais por meio de um gradiente de cores. Observa-se maior concentração de capacidade instalada nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, enquanto Norte e parte do Nordeste apresentam valores menores. No total, a MMGD no país alcança 43,1 GW, sendo 8,0 GW de Minigeração e 34,2 GW de Microgeração, o que indica a predominância dos sistemas de menor porte na expansão da geração distribuída. A representação espacial reforça o padrão nacional de crescimento, concentrado em regiões com maior densidade de consumidores, infraestrutura mais robusta e maior ritmo histórico de adoção de sistemas fotovoltaicos.

Figura 1 – Potência instalada de MMGD em GW no Brasil



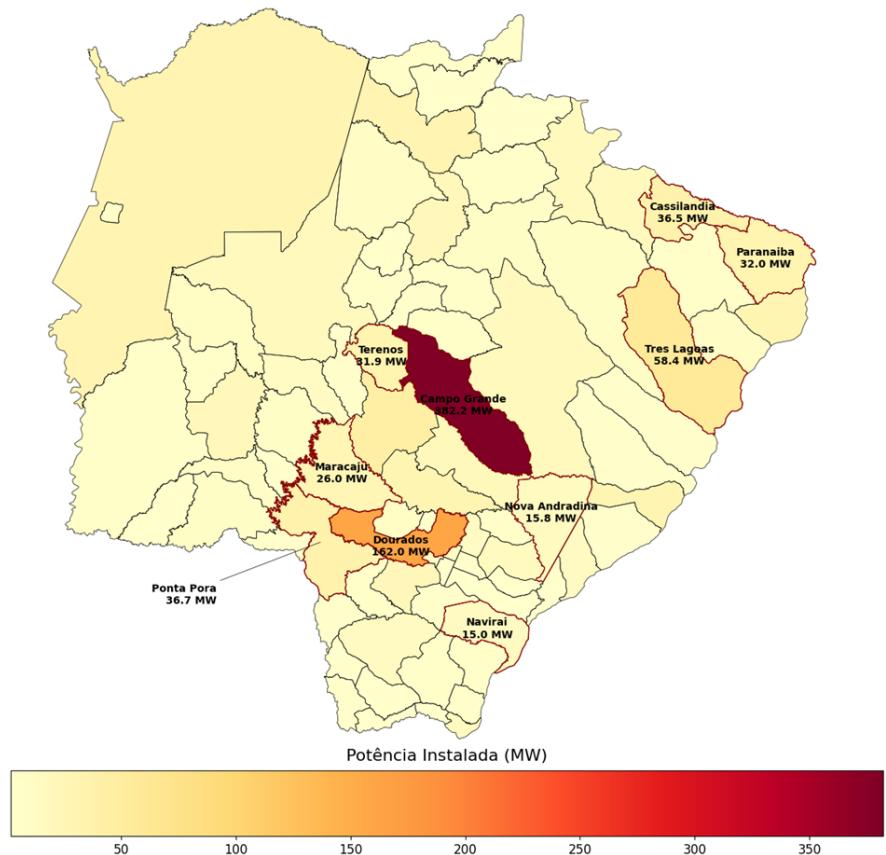
Fonte: Autoria própria com base nos dados abertos da [ANEEL \(2025\)](#)

No Brasil, a inserção da geração distribuída ocorreu de forma gradual e relativamente tardia em comparação com outros países. Apesar de sua regulamentação inicial ter ocorrido em 2004, foi somente a partir de 2012, com a publicação da Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que o setor passou a apresentar crescimento significativo, impulsionado pelos novos incentivos regulatórios. Posteriormente, com a atualização das regras por meio da Resolução Normativa nº 687/2015, observou-se uma expansão ainda mais acelerada da potência instalada de sistemas de geração distribuída, despertando a atenção dos agentes do setor elétrico quanto aos potenciais impactos técnicos e operacionais decorrentes desse rápido avanço. (ANEEL, 2024)

O estado do Mato Grosso do Sul, com sua localização geográfica estratégica e abundância de recursos naturais, destaca-se como uma região promissora para a expansão dessas tecnologias. No entanto, a inserção de energias renováveis na rede elétrica traz uma série de desafios técnicos e operacionais que precisam ser cuidadosamente analisados. A integração das fontes renováveis pode aumentar a variabilidade na geração de energia, impactando diretamente a estabilidade da rede elétrica. (CASTRO; DANTAS, 2016)

A [Figura 2](#) ilustra a distribuição da potência instalada de Micro e Minigeração Distribuída no estado, totalizando 1,66 GW, dos quais 0,46 GW correspondem à Minigeração e 1,27 GW à Microgeração, evidenciando a predominância dos sistemas de menor porte. A inserção de GD é mais expressiva nos municípios com maior concentração populacional e atividade econômica, sobretudo Campo Grande (382,2 MW), Dourados (162,0 MW) e Três Lagoas (58,4 MW), que se destacam como principais polos de crescimento da geração distribuída no estado. Esses valores refletem um processo de expansão contínua, alinhado às características locais de demanda e à crescente adoção de sistemas fotovoltaicos na região.

Figura 2 – Potência instalada de MMGD em MW no Mato Grosso do Sul



Fonte: Autoria própria com base nos dados abertos da [ANEEL \(2025\)](#)

A Distribuidora de Energia Energisa Mato Grosso do Sul (EMS) ocupa a 8<sup>a</sup> posição nacional em potência instalada de Geração Distribuída (GD), totalizando 1.661.584 kW, e figura em 9º lugar em número de conexões, com 145.273 unidades consumidoras com GD ativa, conforme dados consolidados entre as concessionárias do país (ANEEL,2025), representadas a partir da [Tabela 1](#).

Tabela 1 – Ranking das Distribuidoras por Quantidade de Geração Distribuída (GD)

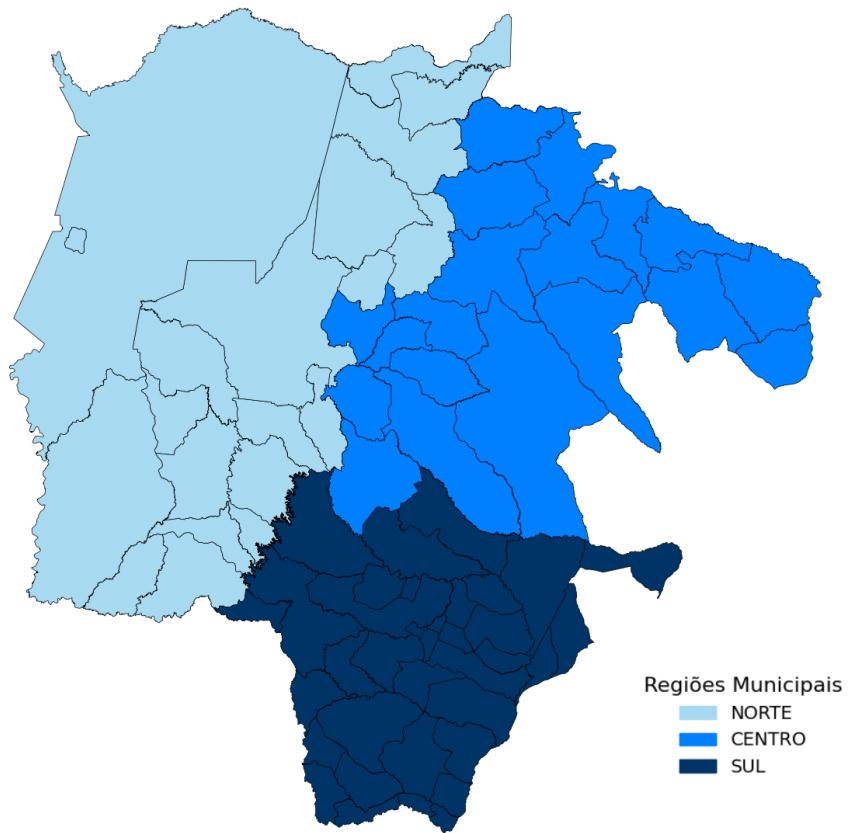
Nº	AGENTE	QTD GD	UCs REC CRÉDITOS	Total de UCs	% UCs REC CRÉDITOS x Qtd UCs
1	CEMIG-D	326.131	865.408	9.835.494	8,80%
2	COPEL-DIS	249.147	355.978	5.224.635	6,81%
3	CPFL-PAULISTA	253.351	414.330	4.669.674	8,87%
4	EMT	190.377	242.210	1.557.764	15,55%
5	RGE SUL	264.508	347.554	3.000.526	11,58%
6	EQUATORIAL GO	151.246	190.835	3.130.138	6,10%
7	COELBA	210.579	345.994	6.359.992	5,44%
8	<b>EMS</b>	<b>145.273</b>	<b>206.408</b>	<b>1.146.357</b>	<b>18%</b>
9	EQUATORIAL PA	128.436	162.117	2.364.639	6,86%
10	ENEL CE	116.056	148.301	3.669.240	4,04%

Fonte: Autoria Própria com Base nos dados abertos da [ANEEL \(2025\)](#)

No entanto, ao analisarmos a proporção de unidades consumidoras beneficiadas com créditos de GD em relação ao total de clientes, a EMS se destaca expressivamente: aproximadamente 18% das UCs da concessão recebem créditos de energia gerada por sistemas fotovoltaicos, evidenciando a alta penetração da geração solar distribuída na região como visto em [Tabela 1](#)

O sistema elétrico do estado de Mato Grosso do Sul apresenta uma estrutura robusta e em constante expansão, acompanhando o crescimento econômico e o avanço da geração distribuída na região. A principal concessionária responsável pela distribuição de energia elétrica é a **Energisa Mato Grosso do Sul (EMS)**, que atende 74 dos 79 municípios do estado, abrangendo uma área de aproximadamente 329.507 km<sup>2</sup> ([Figura 3](#)) Os demais municípios — Três Lagoas, Brasilândia, Selvíria, Santa Rita do Pardo e Anaurilândia — são atendidos pela Neoenergia Elektro ([SUL, 2024](#); [AGEMS, 2024](#)).

Figura 3 – Área de Concessão da Distribuidora Energisa Mato Grosso do Sul



Fonte: Autoria própria com base nos dados abertos da [ANEEL \(2025\)](#)

O sistema elétrico estadual integra o Sistema Interligado Nacional (SIN), sendo operado em conjunto com as redes de transmissão de empresas como a Eletrosul e concessionárias privadas. As principais tensões de operação são de 230 kV e 138 kV, interligando as subestações regionais e garantindo o fornecimento às distribuidoras locais ([EPE, 2019](#)). O estado recebeu importantes investimentos em infraestrutura, com a ampliação de subestações e construção de novas linhas de transmissão financiadas pelo BNDES e por leilões da ANEEL, totalizando mais de 300 km de novas linhas e 300 MVA de potência de transformação ([ENERGIA, 2023](#); [AGEMS, 2023](#)).

Nos últimos anos, a Geração Distribuída (GD) tem assumido papel central no crescimento do sistema elétrico sul-mato-grossense. De acordo com dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e da ANEEL, a potência instalada em GD no estado já ultrapassa 1.200 MW, sendo a maior parte proveniente de sistemas fotovoltaicos conectados à rede de baixa tensão ([ONS, 2024](#)). Essa potência é comparável à demanda de pico estadual, estimada em torno de 1.600 MW, demonstrando o impacto significativo da GD sobre o balanço energético regional.

O avanço da geração distribuída é fortemente concentrado em sistemas de pe-

queno porte, sobretudo residenciais e comerciais, beneficiados pelas condições climáticas favoráveis e pela ampla disponibilidade de radiação solar. O programa de compensação de energia elétrica regulamentado pela Resolução Normativa n.º 1.000/2021 da ANEEL impulsionou a adoção desses sistemas, tornando o Mato Grosso do Sul um dos estados com maior crescimento proporcional em potência instalada de GD na região Centro-Oeste (SUL, 2024).

Além dos impactos econômicos e ambientais, a expansão da GD traz novos desafios operacionais para o sistema elétrico estadual. O aumento do número de conexões de micro e minigeração tem exigido da distribuidora investimentos em modernização de rede, automação de alimentadores e readequação de limites de fluxo reverso, especialmente em alimentadores rurais e de baixa densidade de carga (SUL, 2024).

## 1.1 Revisão Bibliográfica do Estado da Arte

Diversos estudos têm se dedicado a analisar os impactos da geração distribuída, destacando sua crescente importância para o desenvolvimento energético regional e nacional.

Um estudo relevante sobre a evolução da Geração Distribuída (GD) no Brasil desenvolvido por (SANTOS, 2022), com foco no estado de Minas Gerais. O autor analisa a expansão do setor a partir da Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que instituiu o sistema de compensação de energia elétrica. O trabalho destaca o crescimento expressivo das conexões e da potência instalada em sistemas fotovoltaicos, bem como os avanços regulatórios que permitiram o fortalecimento do setor. Por meio de uma pesquisa teórico-exploratória, foram analisados dados de uma empresa atuante em geração distribuída compartilhada, buscando compreender o modelo de negócio e o comportamento de diferentes perfis de consumidores. Esse estudo contribui para a compreensão dos impactos e desafios associados à geração distribuída no contexto nacional, servindo como base para análises regionais, como o caso do estado de Mato Grosso do Sul.

A preocupação com os impactos ambientais tem crescido nos últimos anos no Brasil e, com isso, fomentado debates sobre práticas sustentáveis e incentivado diversas ações governamentais. Um dos reflexos mais significativos dessas iniciativas ocorre no setor elétrico, onde se observa um aumento expressivo da adoção do modelo descentralizado de geração de energia, conhecido como Geração Distribuída (GD).

Segundo Dias (2020), a popularização da geração distribuída tem suscitado discussões acerca das consequências de sua expansão sobre o setor elétrico como um todo. Diante desse cenário, vem sendo estudado um processo de revisão da legislação que regula a GD no país, com o intuito de estabelecer condições regulatórias mais equilibradas e

que favoreçam um crescimento sustentável desse modelo de geração. O autor também resalta que tais mudanças terão impacto direto no desenvolvimento do mercado de geração distribuída brasileiro, sendo fundamentais para o amadurecimento do setor.

Conforme destacado por Ferreira (2023), o estudo sobre os impactos da inserção de energias renováveis na rede elétrica do estado de Mato Grosso do Sul evidencia tanto os benefícios quanto as limitações dessa transição.

A pesquisa aborda os efeitos da geração distribuída sobre parâmetros operacionais da rede, como inversão do fluxo de potência, variações de tensão, aumento das perdas elétricas e possíveis sobrecargas em alimentadores. O autor ressalta que há um limite operacional no qual a potência ativa não deve exceder a capacidade dos equipamentos, sob pena de comprometer sua eficiência.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

Compreender, de forma quantitativa, o cenário da geração distribuída no estado de Mato Grosso do Sul, considerando aspectos técnicos, regulatórios e estatísticos que influenciam seu desenvolvimento.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma análise estatística da inserção da geração distribuída no Mato Grosso do Sul, identificando tendências e padrões de crescimento;
- Avaliar as projeções futuras de expansão da geração distribuída no estado;
- Analisar as implicações regulatórias e técnicas associadas à integração da geração distribuída ao sistema elétrico;
- Caracterizar os principais efeitos dessa inserção sobre o desempenho e a operação da rede elétrica regional.

## 1.3 Organização do Trabalho (Resumo dos capítulos)

O presente Trabalho de Conclusão de Curso foi estruturado de forma a conduzir o leitor, de maneira clara e progressiva, por todas as etapas necessárias à compreensão da evolução da Geração Distribuída (GD) no Mato Grosso do Sul, bem como das análises estatísticas e modelagens aplicadas. A organização adotada reflete uma sequência lógica

entre fundamentação teórica, metodologia, desenvolvimento analítico e apresentação dos resultados.

No Capítulo 1, apresenta-se a Introdução, contextualiza o desenvolvimento da Geração Distribuída no Brasil e no Mato Grosso do Sul, apresenta o cenário regulatório e técnico que fundamenta o tema e realiza uma análise de trabalhos anteriores que investigaram a expansão da GD sob diferentes abordagens. Além disso, estabelece os objetivos do estudo, destacando a análise estatística da evolução da GD no estado, a avaliação de projeções de crescimento, as implicações regulatórias e técnicas associadas à sua integração ao sistema elétrico e os principais efeitos dessa inserção sobre a operação da rede de distribuição.

O Capítulo 2, apresenta-se a Fundamentação Teórica onde são contextualizados os principais conceitos relacionados à microgeração e minigeração distribuída, a legislação aplicável (com destaque para a Lei nº 14.300/2022), e as classificações de GD I, GD II e GD III. Também são discutidos o fenômeno da inversão de fluxo, a importância das projeções estatísticas.

O Capítulo 3 comprehende a Desenvolvimento da Geração Distribuída, Analisando aspectos técnicos e Regulatórios, descrevendo as bases de dados utilizadas, os procedimentos adotados na análise temporal da potência instalada e das solicitações de acesso, além dos métodos empregados para avaliar a evolução das conexões de GD ao longo dos anos. Este capítulo também detalha a análise dos preços dos sistemas fotovoltaicos e as condições técnicas do sistema elétrico para absorção de GD, incluindo aspectos regulatórios relacionados ao fluxo reverso e aos limites de inserção nas redes de distribuição.

No Capítulo 4, são apresentados modelagens e Projeções da Geração Distribuída, organizados de forma a destacar a evolução histórica da GD no estado, separando micro e minigeração. Em seguida, discute-se o comportamento das conexões mensais, a construção do modelo utilizado e a projeção realizada para os próximos anos. A curva acumulada da potência instalada é analisada comparando valores observados e projetados, finalizando com uma discussão integradora dos achados mais relevantes e uma síntese final.

Por fim, o trabalho é encerrado com a Conclusão, na qual são retomados os principais resultados obtidos, suas implicações para o planejamento do sistema elétrico e possíveis caminhos para estudos futuros.

## 2 Fundamentação Teórica

Para o desenvolvimento das análises e estimativas apresentadas neste trabalho, foi necessário compreender conceitos fundamentais relacionados à geração distribuída, à inversão de fluxo de potência e aos impactos da inserção de fontes renováveis na rede elétrica. Além disso, são abordadas técnicas de análise estatística utilizadas na interpretação dos dados e na avaliação dos resultados obtidos. A seguir, apresenta-se uma breve fundamentação teórica que visa esclarecer esses principais conceitos e embasar as discussões subsequentes.

### 2.1 Microgeração e Minigeração Distribuída

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a microgeração distribuída (MicroGD) consiste em uma central geradora de energia elétrica conectada à rede de distribuição por meio das instalações de uma unidade consumidora, com potência instalada em corrente alternada menor ou igual a 75 kW. Essa geração deve utilizar fontes renováveis ou cogeração qualificada, conforme estabelecido na Resolução Normativa nº 1.031/2022.

Por sua vez, a minigeração distribuída (MiniGD) também se refere a uma central geradora conectada à rede de distribuição através de uma unidade consumidora, porém com potência instalada superior a 75 kW e limitada conforme o tipo de fonte utilizada. De acordo com a mesma resolução, enquadram-se como minigeração distribuída as centrais com potência de até 5 MW para fontes despacháveis, e até 3 MW para as demais fontes não despacháveis.

Adicionalmente, para as unidades consumidoras já conectadas até 6 de janeiro de 2023 ou que protocolaram solicitação de orçamento de conexão até 6 de janeiro de 2023, mantém-se o limite de 5 MW, independentemente do enquadramento da fonte como despachável ou não.

Outro aspecto relevante é a classificação tarifária: conforme o art. 23, §6º da Resolução Normativa nº 1.000/2021, a minigeração distribuída deve obrigatoriamente ser enquadrada no Grupo A, enquanto a microgeração pode ser instalada tanto em unidades consumidoras do Grupo A quanto do Grupo B.

## 2.2 Marco Legal da Micro e Minigeração Distribuída: Lei nº 14.300/2022

A Lei nº 14.300, sancionada em 6 de janeiro de 2022, estabeleceu o Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída no Brasil, criando um novo conjunto de regras para o funcionamento do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). Essa legislação representou uma atualização significativa das normas anteriores, especialmente da Resolução Normativa nº 482/2012 e da RN 687/2015, ao introduzir critérios mais detalhados para o tratamento tarifário, estrutura de compensação e modalidades de geração distribuída (BRASIL, 2022).

Entre seus principais objetivos, a lei buscou equilibrar os benefícios proporcionados pela Geração Distribuída (GD) com os custos relacionados à operação e manutenção da rede elétrica. Antes da lei, os consumidores com GD compensavam praticamente todos os componentes da tarifa ao injetar energia na rede, o que gerava debates sobre a sustentabilidade econômico-financeira do sistema. Assim, a Lei 14.300 introduziu um período de transição e novas regras de cobrança para os componentes tarifários não relacionados à energia, como distribuição, encargos e serviços do sistema (ANEEL, 2024).

A legislação também definiu a classificação dos projetos em GD I, GD II e GD III, baseada na **data de protocolo do pedido de acesso**. Essa classificação estabeleceu diferentes níveis de participação nos custos tarifários e permitiu a manutenção de direitos adquiridos para projetos solicitados antes de prazos específicos. O período de transição se estendeu até 6 de janeiro de 2023 para garantir que consumidores e empreendedores pudessem se adaptar ao novo modelo (??).

Além do tratamento tarifário, a Lei 14.300 consolidou e aprimorou modalidades já existentes, como autoconsumo remoto, geração compartilhada e empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras. Também reforçou a necessidade de transparência nos estudos de acesso e trouxe diretrizes para melhor integração técnica da GD aos sistemas de distribuição, diante de desafios como elevação de tensão e inversão de fluxo de potência (SCHAEFFER; SZKLO, 2020).

De forma geral, o Marco Legal representou um avanço na regulamentação da GD no Brasil, ao garantir segurança jurídica para os investidores, previsibilidade para as distribuidoras e continuidade da expansão da energia solar fotovoltaica e de outras fontes renováveis no país.

## 2.3 Classificação da Geração Distribuída: GD I, GD II e GD III

A evolução da Geração Distribuída (GD) no Brasil passou por importantes marcos regulatórios que resultaram na atual classificação dos empreendimentos em GD I, GD II e GD III. Essa divisão foi oficializada com a promulgação da Lei nº 14.300/2022, conhecida

como Marco Legal da Micro e Minigeração Distribuída. A classificação não está associada ao porte da usina, mas sim às regras de compensação de energia aplicáveis conforme a **data do protocolo de solicitação de acesso** (BRASIL, 2022).

O primeiro marco relevante foi a Resolução Normativa nº 482/2012, que criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). Essa norma permitiu que consumidores pudessem gerar energia renovável e compensar a energia excedente injetada na rede, inaugurando a GD moderna no país (ANEEL, 2012). Em 2015, a Resolução Normativa nº 687 ampliou o escopo da RN 482, atualizou limites de potência e incluiu modalidades como autoconsumo remoto e geração compartilhada (ANEEL, 2015). Essas regras vigoraram até a publicação da Lei nº 14.300.

A Lei nº 14.300/2022 estabeleceu um período de transição e definiu três categorias distintas de enquadramento:

O grupo GD I abrange todas as conexões existentes ou protocoladas até 7 de janeiro de 2023. As unidades classificadas nesse grupo mantêm o direito adquirido às regras anteriores, permanecendo na compensação integral dos componentes tarifários (incluindo TUSD Fio B) até 2045, conforme o Art. 26 da Lei 14.300/2022. Isso faz com que esse enquadramento seja o mais vantajoso em termos de retorno financeiro, pois não sofre as cobranças progressivas introduzidas para novos acessantes (ANEEL, 2024).

O grupo GD II aplica-se às conexões protocoladas após 7 de janeiro de 2023, desde que atendam aos limites de potência estabelecidos: autoconsumo local ou remoto até 500 kW, geração compartilhada limitada a 500 kW por participante (com restrições de participação de 25%), além de empreendimentos do tipo EMUCs. Para essas unidades, a lei define um processo de transição tarifária escalonada, reduzindo gradualmente o benefício da compensação da TUSD Fio B entre 2023 e 2028 (ou 2030 para projetos protocolados no período especial do 13º ao 18º mês da Lei). Em 2025, por exemplo, a cobrança já atinge 45% da TUSD Fio B. Ao final da transição, essas unidades passam a operar segundo as regras tarifárias gerais definidas pela ANEEL (??).

Por fim, o grupo GD III abrange unidades também protocoladas após 7 de janeiro de 2023, mas que excedem o limite de 500 kW para autoconsumo remoto ou geração compartilhada. Esse grupo possui o enquadramento tarifário mais restritivo entre os três, uma vez que a compensação da TUSD Fio B é integralmente eliminada desde o início da operação, havendo ainda encargos adicionais sobre os demais componentes tarifários (TUSD Fio A, TE, TUSD PD e TUSD TFSEE). Assim como no GD II, o período de aplicação dessas regras segue até 2028 ou 2030, dependendo da data de protocolo (ANEEL, 2024).

Essa estrutura foi criada para garantir previsibilidade e segurança jurídica tanto aos acessantes quanto às distribuidoras, equilibrando os benefícios do sistema de compen-

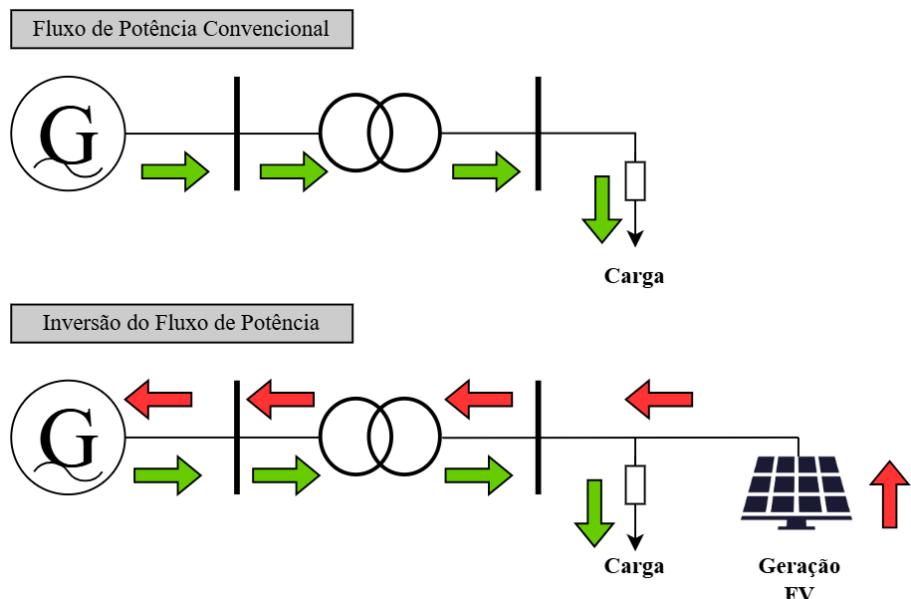
sação com os custos de manutenção da rede. Também busca mitigar distorções tarifárias decorrentes da expansão acelerada da GD, especialmente após 2017, quando a energia solar fotovoltaica se tornou economicamente competitiva.

Assim, o enquadramento em GD I, GD II ou GD III tornou-se um fator determinante para a viabilidade econômica dos projetos, influenciando diretamente o tempo de retorno, o fluxo de crédito de energia e as análises de acesso realizadas pelas distribuidoras.

## 2.4 Inversão de Fluxo

A inversão de fluxo de potência ocorre quando a energia gerada localmente por sistemas de Geração Distribuída (GD), especialmente de origem fotovoltaica, excede a demanda da unidade consumidora ou do trecho de rede onde está conectada, fazendo com que o sentido do fluxo de potência se inverta — ou seja, a energia passa a ser injetada da rede de baixa tensão em direção à média tensão, em vez do fluxo convencional da subestação para as cargas, como ilustrado na [Figura 4](#).

Figura 4 – Fluxo Convencional e Fluxo Inverso de Potência



Fonte: Autoria própria

Esse fenômeno altera as condições originais de operação das redes de distribuição, podendo causar sobretensão, desequilíbrio de fases e problemas de coordenação de proteção, uma vez que os dispositivos foram projetados para operar com fluxo unidirecional. Segundo [Majeed e Nwulu \(2022\)](#), o fluxo reverso afeta diretamente o desempenho e a vida útil dos transformadores de distribuição, além de exigir novas estratégias de controle de tensão e regulação do sistema.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica ([ANEEL, 2024](#)), quando a conexão de um novo sistema de micro ou minigeração distribuída puder provocar inversão do fluxo de potência, a distribuidora deve realizar estudos técnicos específicos para verificar a viabilidade da conexão, assegurando a operação segura e a qualidade do fornecimento de energia elétrica.

## 2.5 Projeções e Análise Estatística

As projeções consistem em estimativas elaboradas com base em dados históricos e tendências observadas, buscando antecipar comportamentos futuros de variáveis de interesse. São amplamente utilizadas em estudos técnicos, econômicos e científicos, pois permitem subsidiar o planejamento estratégico, a tomada de decisão e a avaliação de cenários de curto, médio e longo prazo.

De forma geral, uma projeção parte da análise estatística de séries históricas, em que se identificam padrões, variações sazonais e taxas médias de crescimento. A partir desses dados, aplicam-se métodos matemáticos — como regressões lineares e não lineares, médias móveis ou modelos de previsão temporal — para estimar a provável evolução de determinado fenômeno.

A principal vantagem das projeções está em fornecer indicadores antecipados, que permitem compreender a direção de uma tendência e apoiar ações preventivas ou de otimização. No entanto, toda projeção carrega um grau de incerteza, dependendo da qualidade dos dados utilizados e das hipóteses assumidas no modelo. Assim, a interpretação dos resultados deve sempre considerar a natureza dos dados e o contexto do estudo.

Em síntese, o uso de projeções e análises estatísticas constitui uma ferramenta essencial para a compreensão de fenômenos dinâmicos e para a formulação de estratégias fundamentadas em evidências quantitativas.

# 3 Desenvolvimento da Geração Distribuída: Aspectos Técnicos e Regulatórios

A metodologia adotada neste trabalho baseia-se em uma abordagem quantitativa e exploratória, com foco na análise de dados relacionados à expansão da geração distribuída no estado de Mato Grosso do Sul.

Inicialmente, os dados foram obtidos por meio do painel de *Business Intelligence* (BI) de Geração Distribuída da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que disponibiliza informações atualizadas sobre as conexões de micro e minigeração distribuída em todo o território nacional. Essa base de dados serviu como principal fonte para a caracterização do cenário estadual de geração distribuída, permitindo filtrar e organizar informações conforme a tipologia das usinas, potência instalada, modalidade de consumo e evolução temporal das conexões.

Para o tratamento e a síntese dessas informações, utilizou-se a plataforma Google Colab, que possibilitou a aplicação de técnicas estatísticas, organização dos dados e geração de visualizações gráficas. Essa etapa foi essencial para a identificação de tendências, padrões e projeções associadas à expansão da geração distribuída no estado.

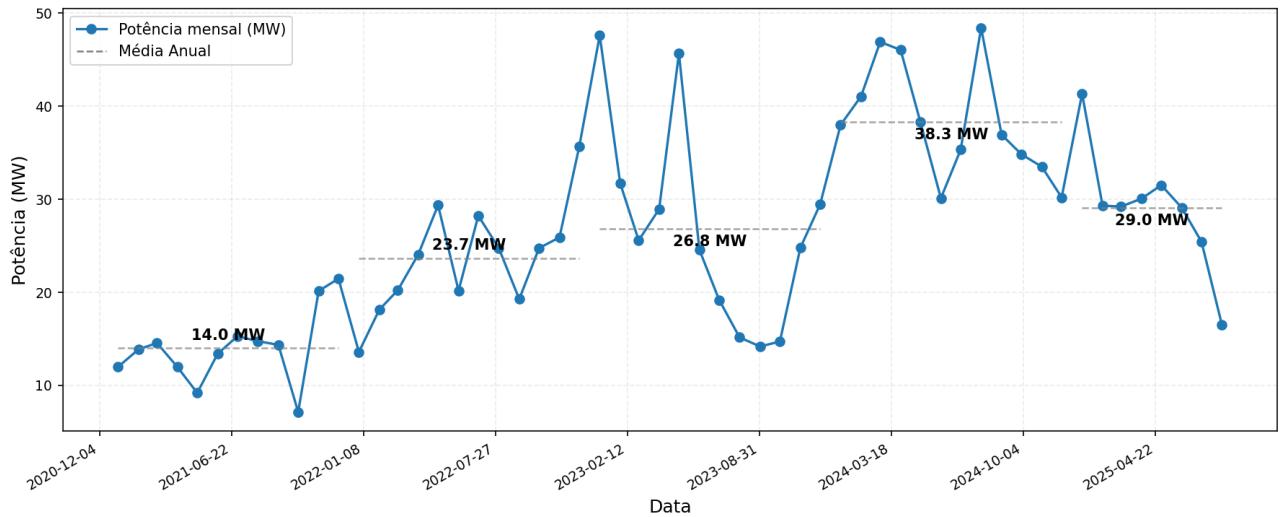
Além dos dados públicos disponibilizados pela ANEEL, contou-se com o apoio da distribuidora local, que forneceu informações complementares relacionadas à volumetria de entrada de projetos elétricos de micro e minigeração distribuída (MMGD). Essa colaboração contribuiu para um diagnóstico mais detalhado do cenário estadual. Essa integração de informações possibilitou uma análise mais ampla, considerando tanto aspectos técnicos quanto contextuais da expansão da geração distribuída no estado.

## 3.1 Análise Temporal da Potência Instalada

O primeiro passo da metodologia consistiu na elaboração de uma linha do tempo representando a evolução da potência instalada de geração distribuída no estado de Mato Grosso do Sul ao longo dos anos. Para isso, foram utilizados os dados disponibilizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), os quais foram tratados e sintetizados de forma a permitir a análise temporal do crescimento do setor. A partir dessas informações, foi calculada a média anual de novas conexões desde o ano de 2020, possibilitando a identificação de tendências de expansão e o comportamento do mercado estadual de geração

distribuída.

Figura 5 – Evolução da Potência Instalada de MMGD no MS



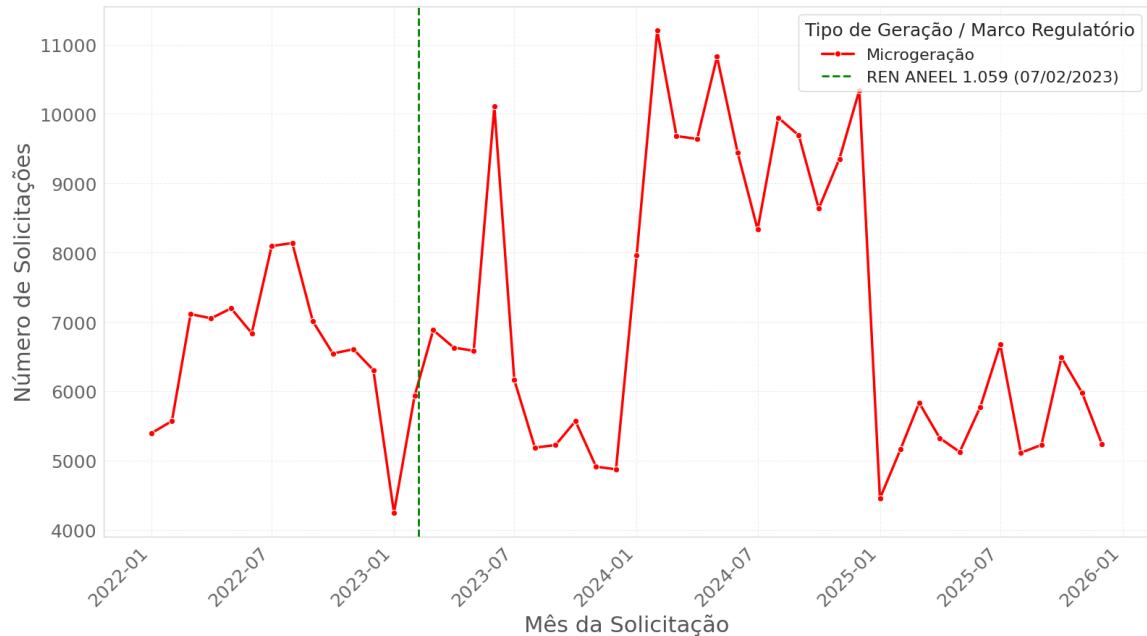
Fonte: Autoria própria com Base nos dados abertos da [ANEEL \(2025\)](#)

### 3.2 Análise Temporal das Solicitações de Microgeração e Minigeração Distribuída

A dinâmica de solicitações de acesso à geração distribuída no Mato Grosso do Sul apresenta comportamentos distintos entre Microgeração e Minigeração, especialmente após a publicação da REN ANEEL nº 1.059/2023, que aprimorou os critérios de avaliação técnica considerando de forma explícita a inversão de fluxo.

A [Figura 6](#) apresenta a evolução mensal das solicitações de **Microgeração**. Observa-se que, mesmo após a entrada em vigor da REN 1.059/2023 (linha vertical tracejada), o volume de pedidos permanece relativamente estável, com oscilações distribuídas ao longo dos meses. Esse comportamento indica que a MicroGD não sofreu impacto significativo das novas restrições.

Figura 6 – Evolução mensal das solicitações de Microgeração com indicação da REN 1.059/2023.

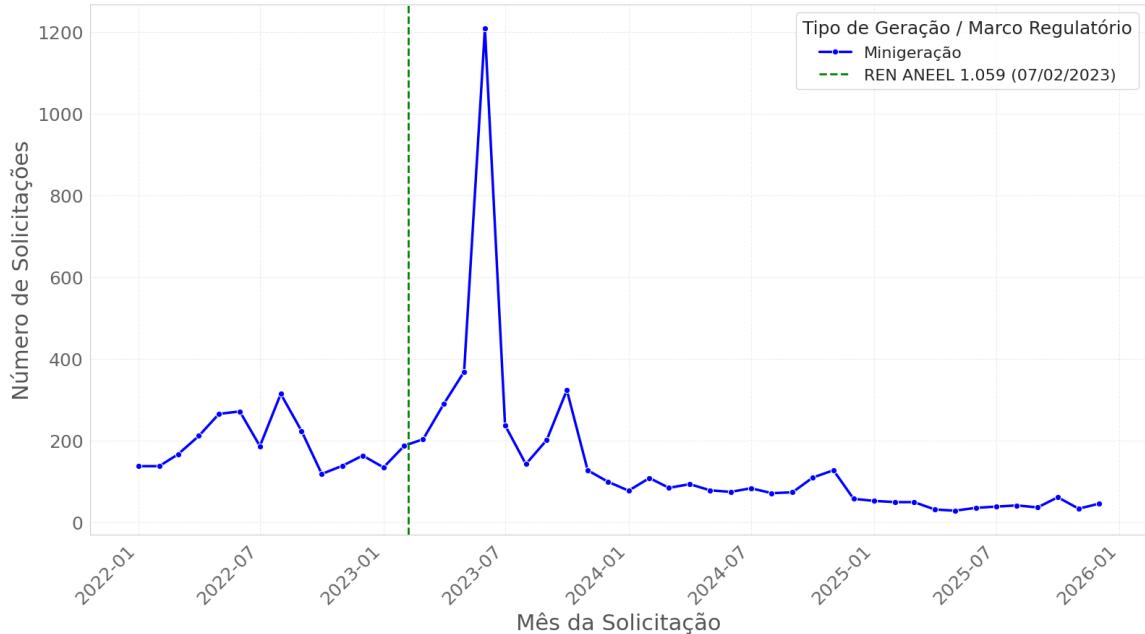


Fonte: Autoria Própria com Base nos dados fornecidos pela Distribuidora Energisa

Em contraste, a **Figura 7** mostra a série temporal das solicitações de **Minigeração**, onde o comportamento é marcadamente diferente. Inicialmente, observa-se um pico expressivo de solicitações logo após a vigência da REN 1.059/2023, caracterizando um movimento típico de “corrida ao protocolo”, no qual acessantes buscam garantir conexão antes da aplicação das novas regras.

Após fevereiro de 2023, a queda é abrupta e persistente, com o número de solicitações se reduzindo a patamares muito inferiores aos observados no período anterior. Essa retração está diretamente associada ao novo arcabouço regulatório, que passou a considerar a inversão de fluxo como critério impeditivo de conexão, restringindo severamente a entrada de sistemas acima de 75 kW em alimentadores já saturados. Tal comportamento é corroborado pelos estudos internos da distribuidora, que indicam taxas de indeferimento da ordem de 90%–98% para novos pedidos de MiniGD.

Figura 7 – Evolução mensal das solicitações de Minigeração com indicação da REN 1.059/2023.



Autoria Própria com Base nos dados fornecidos pela Distribuidora Energisa

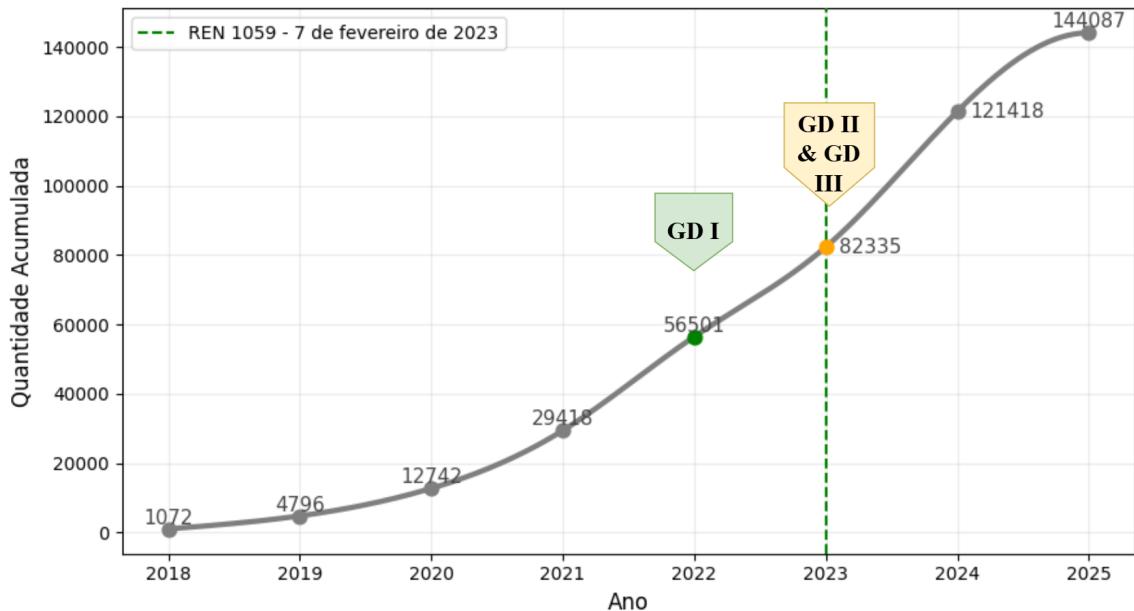
A comparação direta entre as duas figuras evidencia que, enquanto a Microgeração manteve trajetória estável, a Minigeração sofreu uma retração estrutural a partir do aprimoramento da REN 1.000/ANEEL. Esse fenômeno altera de forma significativa a perspectiva de expansão da geração distribuída no estado, concentrando o crescimento futuro principalmente na MicroGD.

### 3.3 Evolução das Conexões de Geração Distribuída: Análise dos Marcos Regulatórios

Após a avaliação das solicitações mensais de acesso para Microgeração e Minigeração Distribuída, a metodologia é estendida para a análise das conexões efetivamente realizadas ao longo dos últimos anos. Essa etapa é essencial para compreender não apenas a intenção de conexão, observada nos gráficos de solicitações, mas também o comportamento real do sistema elétrico em termos de absorção de novos empreendimentos.

A [Figura 8](#) apresenta a evolução anual e acumulada das conexões de **Microgeração Distribuída** no Mato Grosso do Sul. Observa-se um crescimento contínuo e consistente ao longo de todo o período analisado, evidenciado tanto pelo aumento anual quanto pela curva acumulada ascendente. Esse comportamento confirma a tendência já identificada na análise das solicitações: a MicroGD mantém elevada demanda e elevada taxa de aprovação, refletindo menor impacto técnico sobre a rede de distribuição e maior facilidade de aceitação pelas distribuidoras.

Figura 8 – Evolução das Conexões Anuais de Microgeração com Marco Regulatório.

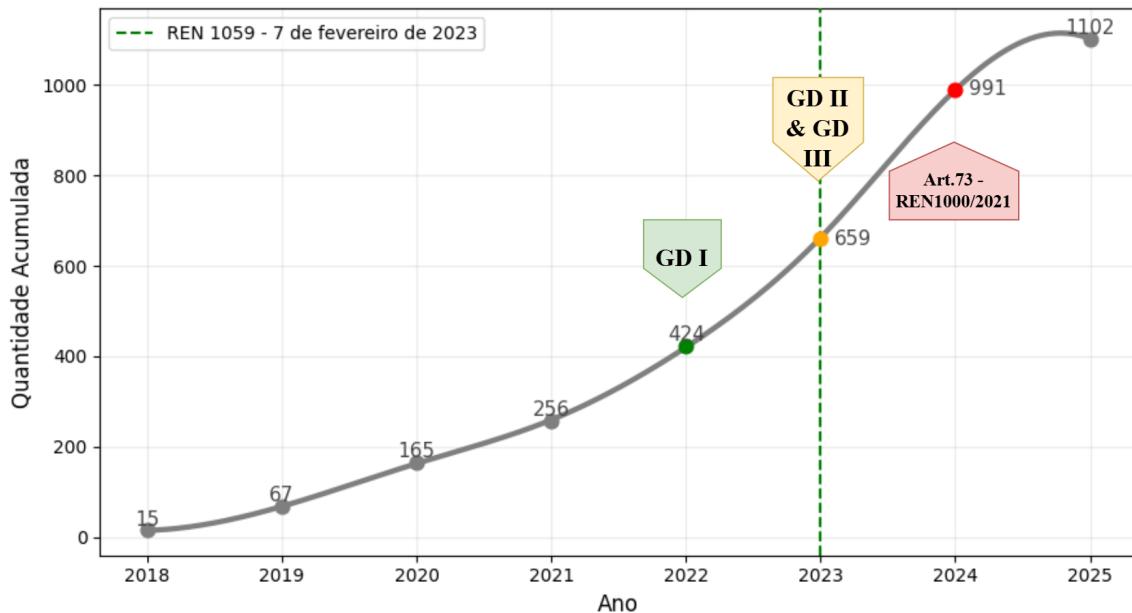


Fonte: Autoria própria com base nos dados abertos da [ANEEL \(2025\)](#)

A [Figura 8](#) mostra a trajetória acumulada da microgeração. Diferente da minigeração, a micro mantém trajetória ascendente mesmo após os marcos regulatórios, pois a maior parte das instalações enquadradas em até 75 kW não é afetada pelos estudos de fluxo reverso. Além disso, a queda contínua dos preços de módulos fotovoltaicos e inversores, combinada com modelos comerciais mais acessíveis e facilidade de aprovação, sustenta o interesse do consumidor.

Em contraste, a [Figura 9](#) apresenta o mesmo levantamento para a **Minigeração Distribuída**. Embora os primeiros anos mostrem crescimento moderado, o comportamento recente revela um claro desalinhamento em relação à MicroGD. A partir de 2023, a quantidade anual de novas conexões de MiniGD diminui de forma significativa, acompanhando diretamente a queda nas solicitações observada anteriormente e o aumento das taxas de indeferimento decorrentes do aprimoramento regulatório da REN ANEEL nº 1.059/2023 e nº 1.098/2024. A curva acumulada de conexões, que antes mantinha trajetória ascendente estável, passa a apresentar inclinação cada vez menor, indicando virtual estagnação na expansão da MiniGD no estado.

Figura 9 – Evolução das Conexões de Minigeração com Marco Regulatório.



Fonte: Autoria própria com base nos dados abertos da [ANEEL \(2025\)](#)

A [Figura 9](#) apresenta a série acumulada de conexões anuais de minigeração, evidenciando a tendência crescente até 2023 e o ponto de inflexão observado a partir de 2024. Esse comportamento está diretamente associado à atualização do Artigo 73 da REN nº 1000/2021, modificada pela REN nº 1098/2024, que introduziu o estudo obrigatório de inversão de fluxo. A exigência desse estudo e os limites de capacidade de escoamento impostos às subestações geraram forte desaceleração na inserção de novos sistemas de minigeração, principalmente para instalações acima de 500 kW.

A comparação entre as [Figura 8](#) e [Figura 9](#) reforça as conclusões obtidas nos gráficos de solicitações: enquanto a Microgeração segue como principal vetor de crescimento da GD, a Minigeração passa a enfrentar forte retração devido às limitações técnicas impostas pela capacidade da rede e pelos novos critérios de avaliação de acesso. Dessa forma, a análise integrada de solicitações, aprovações e conexões efetivas permite compreender a dinâmica real da expansão da GD no Mato Grosso do Sul, evidenciando uma transição estrutural em que o mercado se concentra progressivamente em sistemas de menor porte.

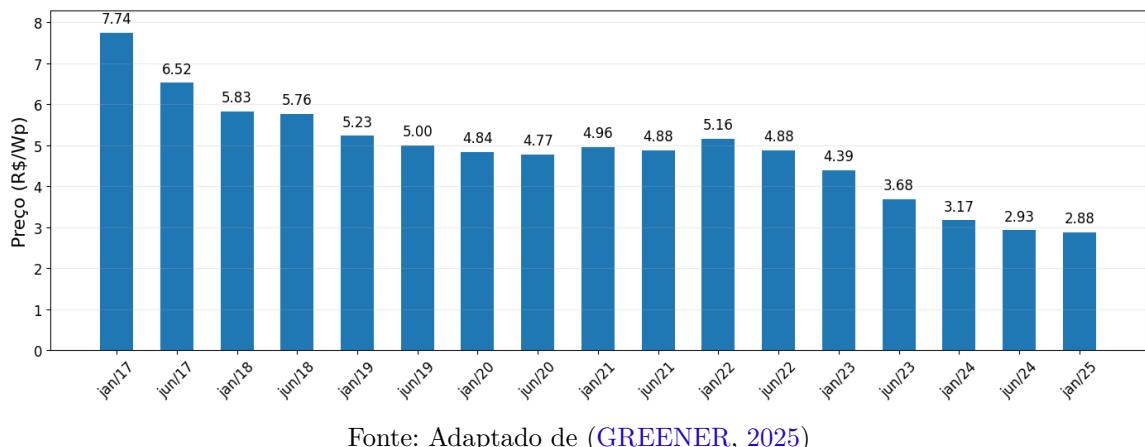
### 3.4 Análise da Evolução dos Preços dos Sistemas Fotovoltaicos (2017–2025)

A redução contínua dos preços dos sistemas fotovoltaicos ao longo dos últimos anos constitui um dos principais fatores responsáveis pela expansão da Geração Distribuída no Brasil, especialmente no segmento de Microgeração. A queda simultânea no preço médio dos kits fotovoltaicos e dos serviços de integração reduziu significativamente o investi-

mento inicial necessário, encurtando o tempo de retorno financeiro e ampliando o acesso à tecnologia por consumidores residenciais, comerciais e industriais. Assim, compreender a evolução dos custos é fundamental para explicar o comportamento ascendente das conexões de GD observadas no Mato Grosso do Sul.

As Figuras 10, 11 e 12 apresentam a evolução histórica dos preços médios de três categorias selecionadas de sistemas fotovoltaicos entre 2017 e 2025: 4 kWp, 50 kWp e 1 MWp. Os gráficos demonstram o custo total médio obtidos através de duas componentes — preço médio do kit e preço médio de integração — permitindo analisar, de forma detalhada, a contribuição de cada uma no valor final por watt-pico (R\$/Wp).

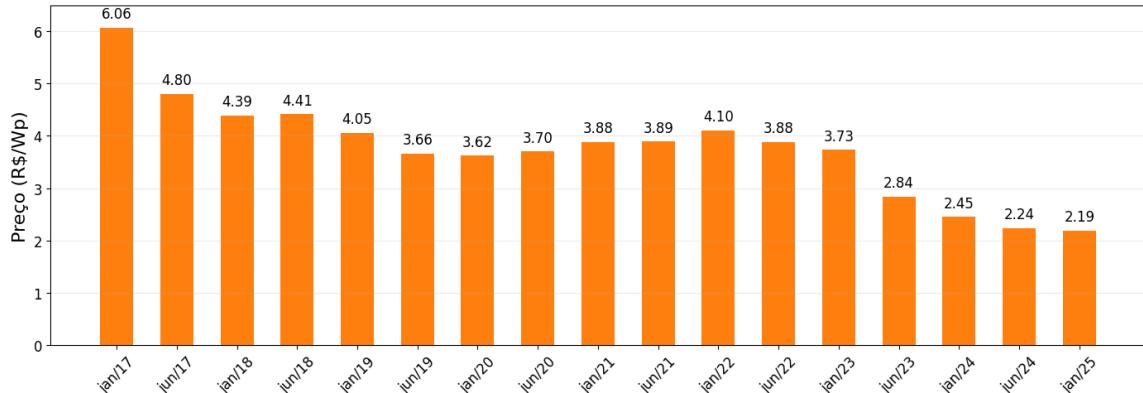
Figura 10 – Evolução do preço médio do sistema de 4 kWp, em R\$/Wp



Fonte: Adaptado de ([GREENER, 2025](#))

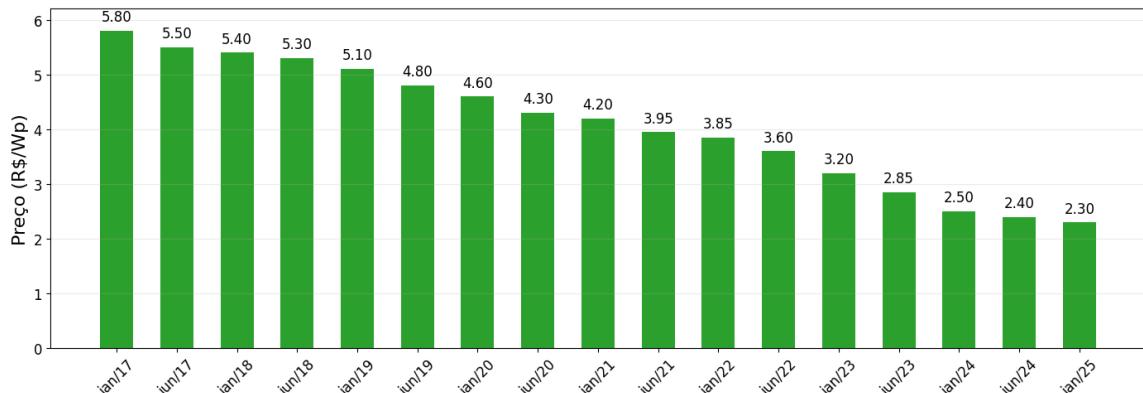
A Figura 10 ilustra a evolução dos preços de sistemas de 4 kWp, tipicamente utilizados em residências. Entre 2017 e 2025, o preço final sofre queda substancial, passando de aproximadamente R\$ 7,74/Wp para valores próximos de R\$ 2,88/Wp. Esse comportamento evidencia forte redução no custo dos módulos, inversores e estruturas, impulsionada pelo aumento da oferta internacional e por ganhos de escala na cadeia de suprimentos fotovoltaicos. O preço médio da integração também apresenta recuo significativo, refletindo a maior profissionalização do setor e a padronização das boas práticas de instalação.

Figura 11 – Evolução do preço médio do sistema de 50 kWp, em R\$/Wp

Fonte: Adaptado de ([GREENER, 2025](#))

A Figura 11 apresenta a evolução dos preços de sistemas de 50 kWp, voltados principalmente a estabelecimentos comerciais, empreendimentos rurais ou pequenas indústrias. Nesse porte intermediário, observa-se redução expressiva ao longo dos anos, partindo de valores próximos a R\$ 6,06/Wp em 2017 para menos de R\$ 2,20/Wp em 2025. A queda é ainda mais perceptível na componente “Preço médio do kit”, sugerindo que o ganho de escala contribui fortemente para a redução dos custos de equipamentos. Já o preço de integração apresenta comportamento mais uniforme, refletindo custos operacionais e logísticos relativamente estáveis, ainda que com tendência geral de queda.

Figura 12 – Evolução do preço médio do sistema de 1 MWp, em R\$/Wp

Fonte: Adaptado de ([GREENER, 2025](#))

A Figura 12 apresenta sistemas de 1 MWp, empregados em usinas fotovoltaicas de grande porte ou consumidores especiais com elevada demanda. A tendência de queda permanece evidente, embora com variações menos acentuadas do que nos sistemas menores. O preço médio total diminui de aproximadamente R\$ 5,80/Wp em 2017 para cerca de R\$ 2,18/Wp em 2025. Nesse porte, observa-se que os custos dos kits sofrem compressão significativa devido à escala de compra e otimização logística, enquanto os custos de inte-

gração mantêm trajetória descendente moderada, compatível com instalações que exigem maior complexidade técnica.

Em síntese, a análise comparativa dos três gráficos demonstra uma redução robusta e consistente no custo dos sistemas fotovoltaicos em todos os portes avaliados. Essa queda contínua no valor por watt-pico foi determinante para a consolidação da Microgeração Distribuída como principal motor de crescimento da GD no Mato Grosso do Sul. A acessibilidade crescente da tecnologia, aliada ao amadurecimento do mercado e à intensificação da concorrência internacional, reforça a importância da expansão fotovoltaica no cenário energético estadual.

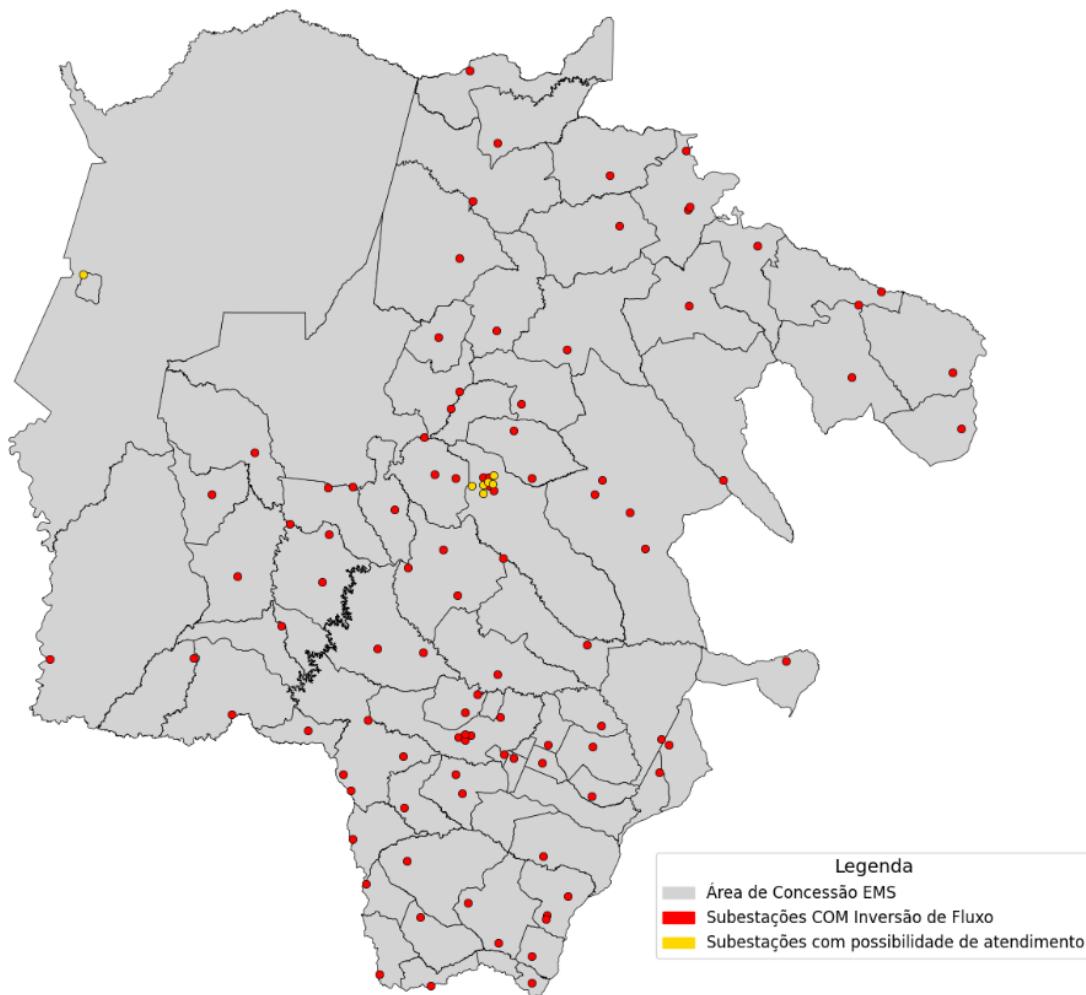
### 3.5 Condições Técnicas do Sistema Elétrico para Inserção de Geração Distribuída

Além das análises estatísticas referentes às solicitações de acesso, aos preços dos sistemas fotovoltaicos e à evolução das conexões efetivamente realizadas, torna-se necessário compreender as condições técnicas do sistema elétrico do Mato Grosso do Sul. Esse contexto é fundamental para explicar o comportamento recente da Geração Distribuída (GD) no estado, especialmente a retração da Minigeração e a predominância crescente da Microgeração.

A Figura 13 apresenta o mapa das Subestações (SEs) de distribuição do estado, destacando os pontos em que há restrições ou limites de injeção de potência. Esses dados fazem parte de uma base pública disponibilizada pela Energisa Mato Grosso do Sul, destinada aos projetistas e responsáveis técnicos que realizam estudos de viabilidade e solicitações de acesso para Micro e Minigeração Distribuída (MMGD). Essa plataforma apresenta a capacidade remanescente de cada subestação, permitindo avaliação prévia quanto à possibilidade de conexão.

De acordo com as informações disponibilizadas pela distribuidora, o sistema elétrico encontra-se amplamente saturado. Dos 176 transformadores de distribuição analisados, 170 (97%) operam com inversão de fluxo. O mesmo fenômeno ocorre nos alimentadores de distribuição, nos quais 424 de 433 circuitos (98%) encontram-se em condição de inversão. Como resultado, apenas três Subestações de Distribuição (SEs) mantêm capacidade residual para novas injeções de geração distribuída, ou seja, que ainda possibilita aprovação de novas conexões de Minigerações, que são: Subestação Campo Grande Centro e subestação Campo Grande Industrial, no município de Campo Grande e na Subestação Corumbá, localizada no município de Corumbá.

Figura 13 – Mapa GD - Situação da Inversão de Fluxo de Potência nas Subestações de Distribuição



Fonte: Autoria Própria com Base nos dados abertos fornecidos pela Distribuidora Energisa

A concentração da capacidade remanescente nessas três subestações indica que grande parte da infraestrutura de média tensão do estado já atingiu seus limites técnicos para absorção de GD. Essa condição explica as elevadas taxas de indeferimento observadas para projetos de Minigeração, bem como a queda das solicitações dessa modalidade após 2023. Em contrapartida, sistemas de menor porte continuam sendo aprovados, reforçando o crescimento predominante da MicroGD, agravando os cenários da inversão de fluxo de potência no estado, como também seu papel como principal via de expansão da geração distribuída no Mato Grosso do Sul.

Assim, as limitações técnicas impostas pela saturação da rede atuam de forma complementar às análises de mercado, de preços e de solicitações apresentadas anteriormente, fundamentando o comportamento das conexões anuais e as projeções futuras da GD no estado.

# 4 Modelagem e Projeções da Geração Distribuída

A análise dos resultados foi estruturada com base no comportamento histórico das conexões de geração distribuída no Mato Grosso do Sul, segmentada em microgeração e minigeração, e posteriormente complementada por projeções obtidas a partir de modelos matemáticos simples baseados em tendências observadas. Os resultados apresentados permitem visualizar a evolução temporal, os pontos de inflexão associados aos marcos regulatórios e a estimativa de comportamento futuro para ambas as classes de GD. A seguir, apresentam-se os gráficos com discussão técnica associada.

## 4.1 Projeção do Comportamento Futuro da Microgeração e Minigeração

A etapa de projeção das conexões futuras de micro e minigeração distribuída foi construída a partir de um modelo matemático simples, orientado pelo comportamento histórico das séries e pelos marcos regulatórios que alteraram significativamente o ritmo de entrada de novos sistemas. O objetivo não foi desenvolver um modelo probabilístico complexo, mas sim uma formulação clara, transparente e diretamente interpretável no contexto regulatório do setor elétrico.

A lógica central da modelagem consiste em decompor a série histórica em duas parcelas: (i) uma tendência média de crescimento observada no período anterior aos marcos regulatórios; e (ii) alterações estruturais provocadas pelas mudanças normativas.

Matematicamente, a tendência básica foi representada por uma regressão linear simples:

$$T(t) = \alpha + \beta t, \quad (4.1)$$

onde  $T(t)$  representa a tendência anual média,  $\alpha$  é o intercepto e  $\beta$  é o coeficiente de inclinação estimado a partir dos dados históricos.

Para capturar os efeitos dos marcos regulatórios sobre a evolução das conexões, foram introduzidas variáveis fictícias (dummies) que assumem valor 1 após o início de cada regime tarifário. Como cada tecnologia (micro e mini) responde de forma distinta aos marcos legais, foram utilizados conjuntos diferentes de dummies.

### a) Projeção da Minigeração (Mini GD)

A minigeração foi especialmente impactada por dois marcos regulatórios:

- a vigência integral das regras de GD III, que introduziram o novo conjunto de compensações;
- o Art. 73 da REN 1000/2021, que estabeleceu o estudo obrigatório de inversão de fluxo, afetando diretamente a viabilidade técnica das novas conexões.

Para esse caso, o modelo adotado foi:

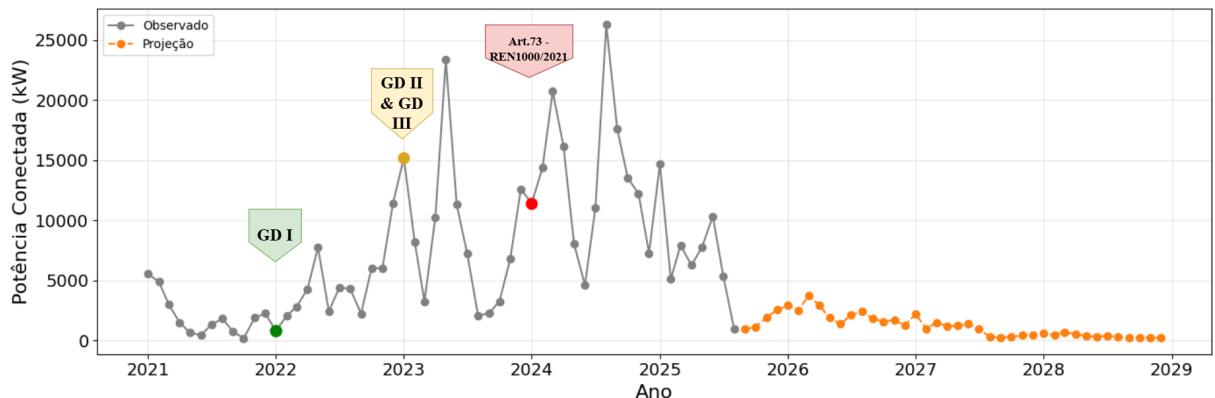
$$Y_{\text{mini}}(t) = \alpha + \beta t + \gamma_1 D_{GDIII}(t) + \gamma_2 D_{Art73}(t), \quad (4.2)$$

em que:

- $Y_{\text{mini}}(t)$  é a potência prevista de minigeração no instante  $t$ ;
- $D_{GDIII}(t) = 1$  após a entrada em vigor das regras de GD III;
- $D_{Art73}(t) = 1$  após a obrigatoriedade do Art. 73 (estudo de inversão de fluxo);
- $\gamma_1$  e  $\gamma_2$  representam o impacto estrutural de cada marco.

A Figura a seguir ilustra o comportamento observado e a projeção resultante do modelo.

Figura 14 – Projeção da potência mensal conectada da Minigeração



Fonte: Autoria Própria

### b) Projeção da Microgeração (Micro GD)

A microgeração apresentou comportamento distinto, fortemente influenciado pelos marcos regulatórios GD I e GD II, que representaram respectivamente:

- um período de forte incentivo (GD I), com compensação integral até 2045;
- uma transição gradativa de compensação (GD II), reduzindo progressivamente os benefícios e desacelerando o ritmo de novas conexões.

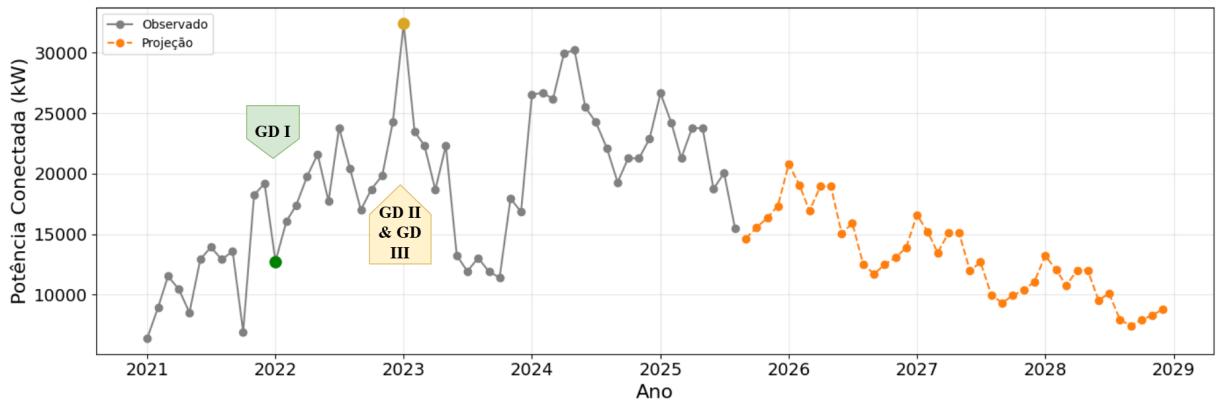
Assim, a formulação utilizada para a microgeração foi:

$$Y_{\text{micro}}(t) = \alpha + \beta t + \eta_1 D_{GDII}(t) + \eta_2 D_{GDIII}(t), \quad (4.3)$$

onde: •  $D_{GDI}(t) = 1$  para conexões enquadradas no prazo-limite da GD I; •  $D_{GDII}(t) = 1$  após início da regra de compensação escalonada (GD II); •  $\eta_1$  e  $\eta_2$  quantificam as inflexões provocadas nos ritmos de expansão.

A figura abaixo apresenta a série histórica e a projeção da microgeração.

Figura 15 – Projeção mensal da potência conectada da Microgeração



Fonte: Autoria Própria.

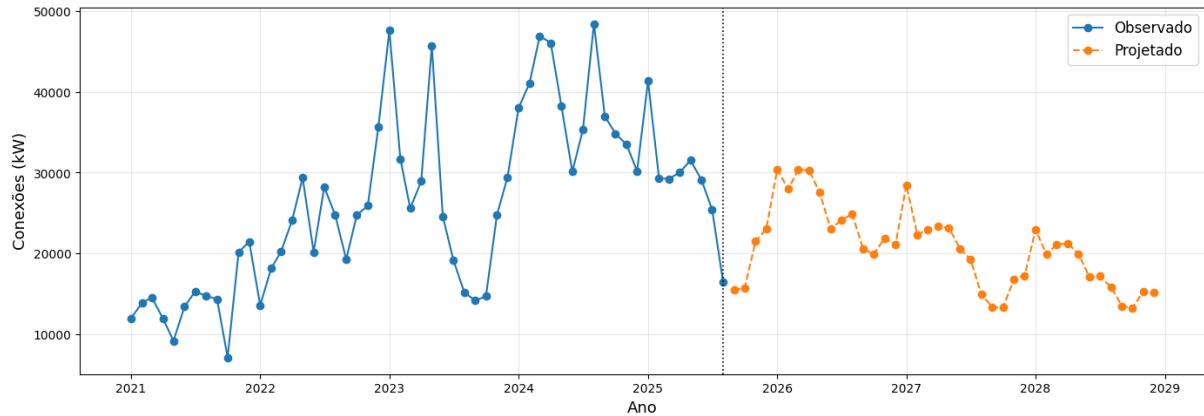
### c) Projeção Total (Micro + Mini)

Uma vez estimadas separadamente as projeções de cada tecnologia, a projeção total do estado foi obtida pela soma direta das componentes:

$$Y_{\text{total}}(t) = Y_{\text{micro}}(t) + Y_{\text{mini}}(t). \quad (4.4)$$

Esse procedimento permite avaliar o efeito conjunto dos marcos regulatórios, evidenciando como períodos de incentivo (como GD I) produzem aceleração expressiva, enquanto normas de transição (GD II e GD III) promovem desaceleração programada, alinhada com a evolução da matriz energética.

Figura 16 – Projeção mensal conjunta da potência conectada de MMGD



Fonte: Autoria Própria

O modelo simples adotado se mostra adequado por sua clareza interpretativa: cada marco regulatório modifica explicitamente a inclinação da curva, permitindo visualizar de forma direta o impacto normativo sobre o setor. Embora não considere todos os fatores socioeconômicos que influenciam a expansão da GD (como preços de equipamentos, PIB, variações tarifárias e avanços tecnológicos), ele captura de maneira objetiva os efeitos regulatórios, que são o foco central deste estudo.

## 4.2 Projeção da Potência Acumulada de Geração Distribuída no Estado

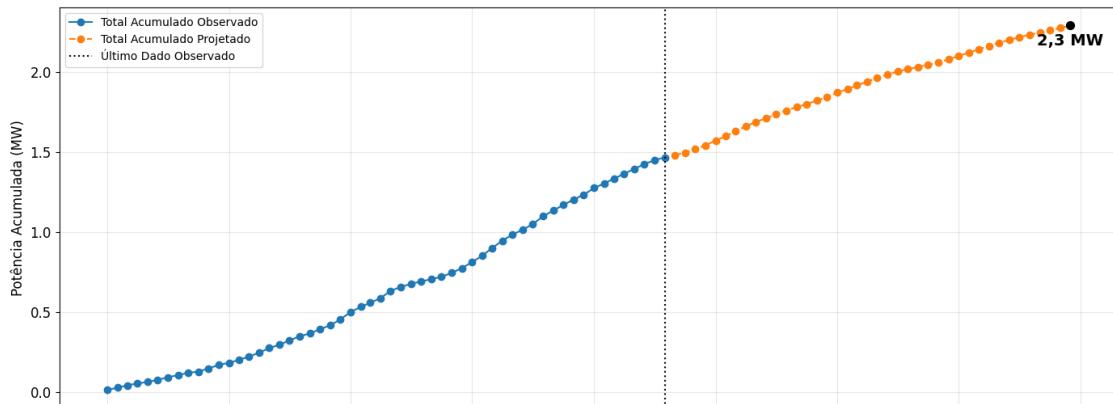
A Figura 17 apresenta a evolução histórica da potência acumulada de micro e minigeração distribuída no estado, abrangendo o período de 2018 a 2025, bem como a projeção estimada até 2028. Observa-se um comportamento nitidamente exponencial ao longo da série histórica, impulsionado principalmente pelo avanço tecnológico, pela redução dos custos dos sistemas fotovoltaicos e, sobretudo, pelos marcos regulatórios que influenciaram diretamente o ritmo de crescimento do setor.

Até 2018, a potência acumulada era modesta, inferior a 2.5 kW, mas a expansão torna-se significativamente perceptível a partir de 2020, alcançando 338 kW em 2021 e ultrapassando 900 kW em 2023. Este crescimento acelerado decorre do expressivo volume de solicitações registradas antes do prazo final de enquadramento no regime de compensação integral da Lei nº 14.300/2022.

A continuidade natural dessa tendência, combinada aos efeitos regulatórios já consolidados, permite estimar que, até 2028, a capacidade acumulada ultrapasse 2,3 GW de potência instalada em GD no estado. A projeção evidencia o papel central da GD no planejamento do sistema elétrico, ao sinalizar uma expansão robusta que pode aumentar

significativamente o fluxo reverso, a demanda por reforços de rede e a necessidade de revisão de critérios técnicos de conexão. Dessa forma, o resultado reforça a importância de políticas públicas e regulamentações estáveis para orientar o crescimento sustentável desse segmento.

Figura 17 – Potência acumulada de GD no estado — histórico e projeção até 2028

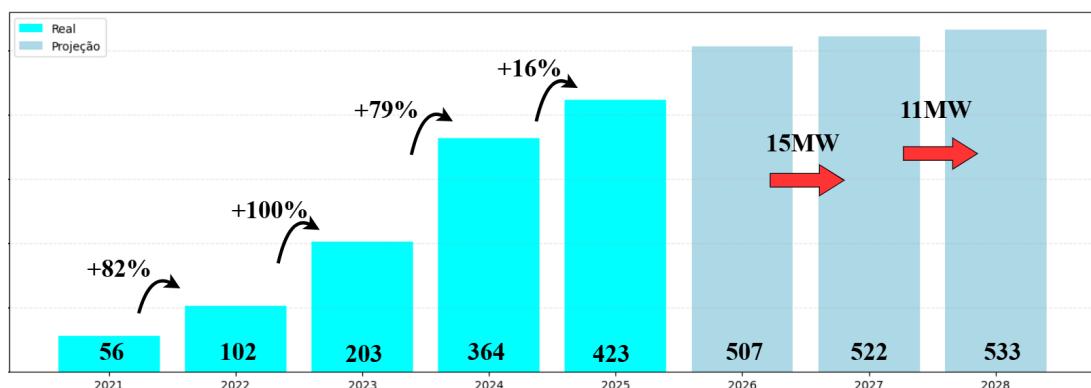


Fonte: Autoria Própria

### 4.3 Crescimento percentual anual da Minigeração

A Figura 18 apresenta o comportamento percentual de crescimento anual da minigeração. Observa-se um ciclo de expansão consistente até 2023, seguido de queda abrupta em 2024. A mudança de inclinação reflete diretamente as barreiras técnicas de acesso impostas pelo novo marco regulatório, evidenciando que a minigeração atingiu um ponto de saturação em parte da rede de distribuição.

Figura 18 – Crescimento percentual anual da Minigeração

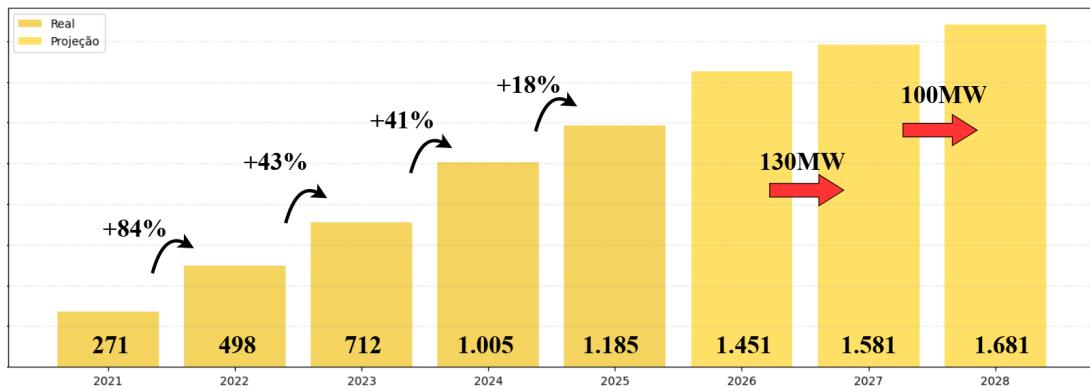


Fonte: Autoria Própria

## 4.4 Crescimento percentual anual da Microgeração

A Figura 19 apresenta o crescimento anual da microgeração. A análise mostra que, apesar de oscilações ano a ano, a tendência geral permanece positiva. Esse comportamento reflete a sensibilidade desse segmento às variáveis econômicas, como preços de sistemas e facilidade de aprovação, e também à consolidação de modelos de negócio como a geração compartilhada.

Figura 19 – Crescimento percentual anual da Microgeração



Fonte: Autoria Própria

## 5 Conclusão

O presente trabalho analisou a evolução da Geração Distribuída (GD) no Mato Grosso do Sul entre os anos de 2018 e 2025, com ênfase nos efeitos produzidos pelos principais marcos regulatórios que moldaram o setor ao longo do período. A partir da construção de bases consolidadas de mini e microgeração, bem como do estudo das inflexões observadas nas curvas de conexões acumuladas, foi possível identificar tendências claras e rupturas comportamentais associadas às mudanças legais introduzidas pela REN 482/2012, REN 687/2015, Lei 14.300/2022 e, de forma mais evidente no caso da miniGD, pela alteração do Art. 73 da REN 1.000/2021, revisado pela REN 1.098/2024.

Os resultados mostraram que a GD no estado apresentou um forte movimento de expansão, especialmente após os períodos denominados GD I e GD II, caracterizados pela corrida regulatória para conexão antes da aplicação dos novos regramentos tarifários. Esse comportamento ficou nítido nos gráficos de conexões acumuladas, que revelaram verdadeiros “avanços” pré-regulatórios. Entretanto, após 2023 observou-se um processo de desaceleração para miniGD, diretamente ligado ao endurecimento das exigências técnicas relacionadas a estudos de impacto e, principalmente, às restrições impostas pelo Art. 73, que introduziu limitações operacionais devido à preocupação com inversão de fluxo e capacidades disponíveis nos alimentadores e subestações.

Para microGD, por outro lado, a trajetória manteve-se ascendente, ainda que com variações, impulsionada sobretudo pela contínua queda dos preços de módulos fotovoltaicos e de sistemas residenciais de pequeno porte. Essa queda reduziu barreiras de entrada e manteve o segmento ativo mesmo em um contexto de maior exigência técnica e econômica para unidades de maior porte.

As projeções realizadas no trabalho adotaram um modelo matemático simples de tendência, fundamentado em regressões lineares aplicadas sobre os períodos observados antes e depois das mudanças regulatórias, de modo a captar as inclinações (slopes) específicas de cada regime. Embora esse modelo tenha se mostrado adequado para ilustrar trajetórias prováveis, sua precisão é naturalmente limitada pela ausência de variáveis explicativas mais amplas. Aspectos como crescimento populacional, PIB estadual, expansão de cargas industriais, políticas de incentivo fiscal, mudanças de taxa de juros e, especialmente, retrações ocasionais causadas por excedentes técnicos da rede, não foram explicitamente considerados.

Por essa razão, a taxa de erro associada às projeções tende a ser relevante, reforçando que os valores obtidos devem ser interpretados não como previsões determinísticas, mas como cenários aproximados que evidenciam a importância dos marcos regulatórios

na trajetória da GD. Ainda assim, o estudo cumpriu seu objetivo principal: demonstrar, de forma técnica, que decisões normativas têm efeitos diretos e mensuráveis sobre o ritmo de expansão da geração distribuída e sobre o próprio comportamento elétrico da rede de distribuição, sobretudo no que diz respeito ao carregamento de alimentadores, margens de capacidade e riscos de inversão de fluxo.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a adoção de modelos econométricos mais completos, incluindo variáveis macroeconômicas, índices de difusão tecnológica, fatores climáticos e curvas de preço de equipamentos. Além disso, modelos de simulação de rede poderiam ser integrados às projeções para quantificar, com maior robustez, como o crescimento de micro e miniGD afeta parâmetros operativos, tais como níveis de tensão, carregamento de transformadores, estabilidade de tensão e necessidade de reforços estruturais. A incorporação de modelos de aprendizado de máquina também representa uma linha promissora para melhorar a acurácia das previsões, especialmente em bases de dados com forte sazonalidade e eventos de ruptura regulatória.

Por fim, conclui-se que o avanço da geração distribuída no Mato Grosso do Sul está fortemente condicionado às decisões regulatórias e à capacidade técnica da rede em absorver novos acessantes. O estudo evidencia que uma análise simultânea das dimensões regulatória, econômica e elétrica é essencial para que distribuidoras, órgãos reguladores e formuladores de políticas públicas possam planejar o setor de forma segura, transparente e eficiente, preservando tanto a expansão sustentável da GD quanto a confiabilidade do sistema elétrico.

## Referências

- AGEMS. *Leilão da ANEEL garante novos investimentos em linhas de transmissão no Estado*. 2023. [https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes\\_liferay/editais\\_transmissao/edital\\_transmissao.cfm](https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes_liferay/editais_transmissao/edital_transmissao.cfm). Disponível em: [https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes\\_liferay/editais\\_transmissao/edital\\_transmissao.cfm](https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes_liferay/editais_transmissao/edital_transmissao.cfm). Acesso em: nov. 2025. Disponível em: <[https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes\\_liferay/editais\\_transmissao/edital\\_transmissao.cfm](https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes_liferay/editais_transmissao/edital_transmissao.cfm)>[https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes\\_liferay/editais\\_transmissao/edital\\_transmissao.cfm](https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes_liferay/editais_transmissao/edital_transmissao.cfm).
- AGEMS. *Informações sobre o Setor Elétrico Estadual*. 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ms.gov.br/na-aneel-agems-discute-melhorias-na-descentralizacao-da-fiscalizacao-de-energia-eletrica/>.
- ANEEL. *Resolução Normativa nº 482/2012: Estabelece as condições gerais para microgeração e minigeração distribuída*. Brasília: [s.n.], 2012. Resolução Normativa ANEEL. Acesso em: 28 nov. 2025. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>><https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>.
- ANEEL. *Resolução Normativa n.º 687/2015: Altera a RN 482/2012 e atualiza as regras do Sistema de Compensação de Energia Elétrica*. Brasília: [s.n.], 2015. Acesso em: 28 nov. 2025. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>><https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>.
- ANEEL. *Geração Distribuída: Regras de Enquadramento dos Grupos GD I, GD II e GD III*. 2024. <https://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 28 nov. 2025.
- ANEEL, D. abertos. *Painel de Dados Abertos de Geração Distribuída*. 2025. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2VmMmUwN2QtYWFiOS00ZDE3LWI3NDMtZDk0NGI4MGU2NTkxIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTc>. Acesso em: 10 fev. 2025.
- BRASIL. *Lei n.º 14.300/2022: Institui o Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída*. 2022. Acesso em: 28 nov. 2025. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html>><https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html>.
- CASTRO, N. J.; DANTAS, G. A. *Políticas Públicas para Redes Inteligentes*. Rio de Janeiro: GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico, UFRJ, 2016.
- DIAS, R. *Geração Distribuída no Brasil: Benefícios, Desafios e Perspectivas Regulatórias*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2020. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia. Acesso em: 13 nov. 2025. Disponível em: <<https://www.gee.ie.ufrj.br/wp-content/uploads/2020/11/Monografia-RD-vfinal.pdf>><https://www.gee.ie.ufrj.br/wp-content/uploads/2020/11/Monografia-RD-vfinal.pdf>.
- ENERGIA, M. *BNDES financia obras de transmissão de energia em Mato Grosso do Sul*. 2023. Disponível em: <https://megawhat.energy/noticias> Acesso em: nov. 2025.

EPE. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 – Capítulo sobre o Centro-Oeste*. 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br> Acesso em: nov. 2025.

FERREIRA, G. B. *Análise dos impactos da incorporação de energias renováveis na rede elétrica do Mato Grosso do Sul*. Campo Grande: [s.n.], 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) — Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Acesso em: 13 nov. 2025. Disponível em: <<https://repositorio.ufms.br/handle/123456789-10684>><https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/10684>.

GREENER. *Portal GREENER — Informações sobre energia e soluções sustentáveis*. 2025. Site institucional. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/pt-BR>><https://www.greener.com.br/pt-BR>.

IRENA. *Renewable Capacity Statistics 2019*. 2019. Abu Dhabi. PDF report. ISBN: 978-92-9260-123-2. Disponível em: <[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019-Mar/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Statistics\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019-Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2019.pdf)>[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Statistics\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2019.pdf).

MAJEEED, B.; NWULU, N. Renewable energy integration: A review of challenges and solutions. *Energies*, v. 15, n. 23, p. 9238, 2022. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/15/23/9238>><https://www.mdpi.com/1996-1073/15/23/9238>.

ONS. *Boletim de Informações da Operação – Mato Grosso do Sul*. 2024. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/energia-agora/operacao> Acesso em: nov. 2025.

SANTOS, M. d. O. L. *Geração distribuída compartilhada: um estudo de caso em Minas Gerais*. Ouro Preto: [s.n.], 2022. Monografia (Graduação em Engenharia de Energia) — Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas. Acesso em: 13 nov. 2025. Disponível em: <<https://monografias.ufop.br/handle/35400000-5244>><https://monografias.ufop.br/handle/35400000/5244>.

SCHAEFFER, R.; SZKLO, A. *Modelagem Estatística para Previsão de Energia em Sistemas Distribuídos*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2020. Revista Brasileira de Energia. Acesso em: 28 nov. 2025. Disponível em: <<https://www.rbe.com.br>><https://www.rbe.com.br>.

SUL, E. M. G. do. *Relatório Anual de Sustentabilidade 2024*. 2024. Disponível em: [https://www.energisa.com.br/sites/energisa/files/media/documents/2025-05/Energisa\\_RA\\_D7\\_FINAL\\_2025\\_1605.pdf](https://www.energisa.com.br/sites/energisa/files/media/documents/2025-05/Energisa_RA_D7_FINAL_2025_1605.pdf) Acesso em: nov. 2025.