



**Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia**

**Modelo estocástico para auxiliar a tomada de
decisão do consumidor no mercado de energia
elétrica**

Victor José de Melo Pereira

**PROJETO FINAL DE CURSO
ENGENHARIA ELÉTRICA**

Brasília
2023

**Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia**

**Modelo estocástico para auxiliar a tomada de
decisão do consumidor no mercado de energia
elétrica**

Victor José de Melo Pereira

Projeto Final de Curso submetido como requi-
sito parcial para obtenção do grau de Enge-
nheiro Eletricista

Orientador: Prof. Dr. Pablo Eduardo Cuervo Franco

Brasília
2023

d769m de Melo Pereira, Victor José.
Modelo estocástico para auxiliar a tomada de decisão do consumidor no mercado de energia elétrica / Victor José de Melo Pereira; orientador Pablo Eduardo Cuervo Franco. -- Brasília, 2023.
101 p.

Projeto Final de Curso (Engenharia Elétrica) -- Universidade de Brasília, 2023.

1. Contratos bilaterais. 2. Aversão ao risco. 3. Julia. 4. Auto-produção. I. Cuervo Franco, Pablo Eduardo, orient. II. Título

**Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia**

**Modelo estocástico para auxiliar a tomada de decisão
do consumidor no mercado de energia elétrica**

Victor José de Melo Pereira

Projeto Final de Curso submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista

Trabalho aprovado. Brasília, 20 de dezembro de 2023:

Prof. Dr. Pablo Eduardo Cuervo Franco,
UnB/FT/ENE
Orientador

Prof. Dr. Fernando Cardoso Melo,
UnB/FT/ENE
Examinador interno

Prof. Dr. Ivan Marques de Toledo
Camargo, UnB/FT/ENE
Examinador interno

Brasília
2023

Agradecimentos

Agradeço à minha família por ter me dado todo o suporte necessário para ser capaz de realizar esse trabalho, eu não teria condições de ter chegado onde cheguei sem eles.

Agradeço também aos meus amigos pelo apoio que me deram durante toda minha jornada na UnB, em especial ao Roberto, Freire, "Zangado" e Hilário, pessoas que eu sempre admirei e continuarei admirando.

Aos meus supervisores do meu primeiro estágio, Bruno e Vinícius, na Aneel, que me apresentaram a esse mundo tão plural que não imagino fora da minha rotina. Aos meus colegas de trabalho da Abraceel, que me acolheram desde o primeiro dia como se eu já fizesse parte da empresa há anos e nunca hesitaram em tirar minhas dúvidas sobre o setor.

À minha chefe, Yasmin, que diariamente eleva o patamar do que significa compromisso com o trabalho e com tudo que o envolve.

À ENETEC, onde conheci amigos que tenho certeza que levarei pro resto da minha vida, em especial aos membros da direx, por me lembrarem diariamente em nossa antiga convivência diária sobre o quanto eu poderia realizar.

Ao meu professor e orientador, Pablo Cuervo, que não mediu esforços em tirar todas as dúvidas que eu tive ao longo desse trabalho e em se colocar à disposição pra me ajudar em quaisquer dificuldades, sem ele nada disso seria possível.

Resumo

Esse trabalho desenvolve uma ferramenta matemática para auxiliar consumidores no Ambiente de Contratação Livre (ACL) do mercado de energia elétrica. Considera cenários variados de preços, consumo, geração fotovoltaica, contratos bilaterais e níveis de aversão ao risco. A metodologia emprega a linguagem de programação Julia, analisando cenários de consumo, preço e geração solar, além de incorporar a modelagem de risco. Os resultados demonstram a eficácia do modelo em orientar decisões, considerando o risco e a variabilidade dos cenários, proporcionando ao consumidor uma ferramenta robusta para a tomada de decisão no mercado energético.

A ferramenta foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação Julia.

Palavras-chave: Autoprodução. Aversão ao risco. Contratos bilaterais. Julia.

Abstract

This work develops a mathematical tool to assist consumers in the Free Contracting Environment (ACL) of the electricity market. It considers varying scenarios of prices, consumption, photovoltaic generation, bilateral contracts, and risk aversion levels. The methodology uses Julia programming language, analyzing scenarios of consumption, price, and solar generation, while incorporating risk modeling. The results show the model's effectiveness in guiding decisions, considering risk and scenario variability, providing consumers with a robust tool for decision-making in the energy market.

The tool was developed using the Julia programming language.

Keywords: Bilateral contracting. Risk management. Julia. Self-producer.

Lista de ilustrações

Figura 2.1 – Representação do mercado livre e do cativo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS COMERCIALIZADORES DE ENERGIA, 2023)	21
Figura 2.2 – Variação acumulada (%) do preço da energia no mercado cativo e livre (COMERCIALIZADORES DE ENERGIA (ABRACEEL), s.d.)	22
Figura 2.3 – Diferença entre a formação de preço por modelo (esquerda) e por oferta (direita) (CCEE, 2023)	23
Figura 2.4 – Divisão dos submercados do SIN (WITZLER, 2021)	24
Figura 2.5 – Características de contratos (ENERGIA, s.d.)	26
Figura 2.6 – Funcionamento de um sistema fotovoltaico <i>on-grid</i> . (SOLAR, s.d.)	28
Figura 2.7 – Funcionamento de um sistema fotovoltaico <i>off-grid</i> . (AQUECEDORES, s.d.)	28
Figura 2.8 – Mapa de potencial de energia solar. (CENTRO DE CIÊNCIA DO SISTEMA TERRESTRE (CCST) / INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), s.d.)	29
Figura 2.9 – Mapa de potencial de energia solar da Europa (JOINT RESEARCH CENTRE, s.d.)	30
Figura 3.10–Cenário original e cenários artificiais para o consumo	34
Figura 3.11–Cenário original e cenários artificiais para o PLD	35
Figura 3.12–Cenário original e cenários artificiais para a geração fotovoltaica	36
Figura 3.13–Ilustração do CVaR e VaR (PRADO; CHIKEZIE, 2023)	37
Figura 4.14–Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1 com $\beta = 0$	44
Figura 4.15–Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.1.1 com $\beta = 0$	45
Figura 4.16–Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.1.2 com $\beta = 0$	46
Figura 4.17–Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.2.1 com $\beta = 0$	47
Figura 4.18–Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.2.2 com $\beta = 0$	48
Figura 4.19–Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.0 com $\beta = 3,2$	49
Figura 4.20–Venda de energia no MCP - Caso 1.0 com $\beta = 3,2$	49
Figura 4.21–Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.1 com $\beta = 3,2$	50
Figura 4.22–Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.1.2 com $\beta = 3,2$	51
Figura 4.23–Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.1.2 com $\beta = 3,5$	52
Figura 4.24–Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.0 com $\beta = 0$	53
Figura 4.25–Consumo, compra de energia de contratos e no MCP 1.1.1 com $\beta = 0$	53
Figura 4.26–Venda de energia no MCP	54
Figura 4.27–Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.2.2 com $\beta = 0$	55

Figura 4.28–Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - 1.0 com $\beta = 3.0$.	55
Figura 4.29–Venda de energia no MCP	56
Figura 4.30–Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.1.1 $\beta = 3.1$	56
Figura 4.31–Venda de energia no MCP	57
Figura 4.32–Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.1.2 com β = 3.1	58
Figura 4.33–Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.1.2 com β = 3.5	59
Figura 4.34–Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.2.1 com β = 3.1	60
Figura 4.35–Venda de energia no MCP - Caso 1.2.1 com $\beta = 3.1$	60
Figura 4.36–Análise do CVaR e custo esperado para diferentes valores de β sem a consideração de geração solar	62
Figura 4.37–Análise do CVaR e custo esperado para diferentes valores de β sem a consideração de geração solar	63

Lista de tabelas

Tabela 4.1 – Tabela comparativa sem a consideração de geração de energia própria, em R\$.	61
Tabela 4.2 – Tabela comparativa com a consideração de geração de energia própria, em R\$.	61

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	15
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	18
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica.....	18
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.....	18
CMO	Custo Marginal de Operação	18
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico	18
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética.....	18
EPE	Empresa de Pesquisa Energética	18
MME	Ministério de Minas e Energia.....	18
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico	18
PLD	Preço de Liquidação das Diferenças	18
PLD	Preço de Liquidação das Diferenças	38
SEB	Setor Elétrico Brasileiro.....	18
SIN	Sistema Interligado Nacional.....	18
UnB	Universidade de Brasília	18

Sumário

1	Introdução	15
1.1	Contextualização	15
1.2	Motivação	15
1.3	Justificativa	16
1.4	Objetivos	16
1.5	Estruturação do trabalho	16
2	Revisão teórica	18
2.1	Estrutura do setor elétrico brasileiro	18
2.2	Ambiente de contratação regulado (ACR)	20
2.3	Ambiente de contratação livre (ACL)	21
2.4	Formação de preços	22
2.4.1	Mundo físico x mundo contábil e Mercado de Curto Prazo (MCP)	23
2.5	Comercialização varejista	25
2.6	Contratos de energia no ACL	26
2.7	Energia fotovoltaica	27
2.7.1	Sistema fotovoltaico <i>zero-grid</i>	30
3	Formulação	32
3.1	Formulação geral do problema e premissas	32
3.2	Formulação dos contratos bilaterais	32
3.3	Formulação das variáveis estocásticas	33
3.3.1	Formulação dos cenários de consumo	33
3.3.2	Formulação dos cenários de preço	34
3.3.3	Formulação dos cenários de geração fotovoltaica	35
3.3.4	Modelagem do risco	36
3.3.5	<i>Conditional Value at Risk</i> (CVaR)	37
3.3.6	Nível de aversão ao risco (β)	37
3.4	Formulação matemática	38
3.4.1	Energia adquirida através de contratos bilaterais (Expressão I)	40
3.4.2	Energia adquirida através do MCP (Expressão II)	41
3.4.3	Controle de risco pelo CVaR (Expressão III)	41
3.4.4	Restrições adicionais	41
3.5	Julia	42
4	Resultados numéricos	43

4.1	Testes sem a consideração da geração fotovoltaica	44
4.1.1	$\beta = 0$	44
4.1.2	$\beta = 0$ e contratos 10% mais onerosos	44
4.1.3	$\beta = 0$, contratos 10% mais onerosos e com potência máxima 10% maior	45
4.1.4	$\beta = 0$, contratos 10% mais onerosos e com potência máxima 10% menor	46
4.1.5	$\beta = 0$, contratos 10% menos onerosos e com potência máxima 10% maior	47
4.1.6	$\beta = 0$, contratos 10% menos onerosos e com potência máxima 10% menor	47
4.1.7	$\beta = 3,2$	48
4.1.8	$\beta = 3,2$, contratos 10% mais onerosos	50
4.1.9	$\beta = 3,2$, contratos 10% mais onerosos e com potência máxima 10% menor	51
4.1.10	$\beta = 3,5$, contratos 10% mais onerosos e com potência máxima 10% menor	51
4.2	Testes com a consideração da geração fotovoltaica	52
4.2.1	$\beta = 0$	52
4.2.2	$\beta = 0$, contratos 10% mais onerosos e com potência máxima 10% maior	53
4.2.3	$\beta = 0$, contratos 10% menos onerosos e com potência máxima 10% menor	54
4.2.4	$\beta = 3,1$	55
4.2.5	$\beta = 3,1$, contratos 10% mais onerosos e com potência máxima 10% maior	56
4.2.6	$\beta = 3,1$, contratos 10% mais onerosos e com potência máxima 10% menor	57
4.2.7	$\beta = 3,5$, contratos 10% mais onerosos e com potência máxima 10% menor	58
4.2.8	$\beta = 3,1$, contratos 10% menos onerosos e com potência máxima 10% maior	59
4.3	Análise do CVaR e Custo esperado para diferentes cenários	61
5	Conclusão e proposta de trabalhos futuros	64
5.1	Conclusão	64
5.2	Propostas de trabalhos futuros	64
	Referências	66
	Apêndices	71
	Apêndice A Códigos	72

A.1	Código em Julia sobre a minimização de custos	72
A.2	Código em Julia para gerar um vetor de 52 elementos aleatórios em torno de um valor central	95
A.3	Código em Julia para ler os dados sintetizados em R	95
A.4	Código em R para gerar 20 séries temporais de valores de consumo	96
A.5	Código em R para gerar 20 séries temporais de valores de PLD	97
A.6	Código em R para gerar 20 séries temporais de valores de geração fotovoltaica	98

Anexos

101

1 Introdução

1.1 Contextualização

Com a publicação da Portaria 50 do Ministério de Minas e Energia ([MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA \(MME\), 2022](#)), vários consumidores de energia elétrica se tornarão aptos a adentrar o ambiente de contratação livre, porém, esses deverão fazê-lo sob a representação de um comercializador varejista.

Dessa maneira, o aprimoramento da comercialização varejista se tornou pauta prioritária para a Agência Nacional de Energia Elétrica em 2023, que instaurou consulta pública acerca do tema no mesmo ano. Uma das diretrizes propostas para o aprimoramento da comercialização varejista na referida consulta pública é a divulgação, por parte dos comercializadores varejistas, de um contrato padronizado de energia a fim de que os novos consumidores desse mercado possam comparar entre diferentes comercializadores varejistas qual seria a melhor opção para si. Além disso, dentro do mercado livre há a possibilidade de se fazer proveito da energia fotovoltaica para abater o consumo próprio, ainda sendo capaz de se beneficiar dos preços mais competitivos de eletricidade dentro do mercado livre em relação ao cativo.

Dito isso, o intuito desse trabalho é auxiliar o consumidor em sua tomada de decisão dentro desse novo ambiente baseado em um modelo de otimização linear estocástico, levando em consideração o seu próprio consumo, diferentes cenários que seu consumo possa adotar, diferentes cenários de geração solar própria e diferentes cenários de preços.

1.2 Motivação

Com a abertura do mercado de energia prevista para 2024, é esperado uma grande migração de consumidores do mercado cativo para o mercado livre, segundo a comercializadora Engie ([ENGIE, s/d](#)). Uma vez que tais consumidores podem não ter conhecimento acerca das operações que acontecem dentro desse mercado, se faz de grande utilidade uma ferramenta que lhes auxiliem na tomada de decisão dentro desse ambiente, que lhes conceda uma maneira prática e fácil de realizar comparações de diferentes ofertas que eles venham a receber. Dito isso, a motivação deste trabalho é conferir ao consumidor uma ferramenta capaz de fazer essa comparação de maneira eficaz, com parâmetros de aversão ao risco e considerando a possibilidade de vários cenários diferentes.

1.3 Justificativa

Mesmo com a existência de um contrato padronizado, muitos consumidores ainda poderão ter dúvidas na hora de escolher o contrato que mais irá atender suas necessidades. Sendo assim, surge a necessidade de haver uma ferramenta que possa auxiliar o consumidor em sua tomada de decisão dentro do mercado livre de energia, considerando diferentes cenários a serem vivenciados pelo mesmo e o grande número de possíveis contratos que lhes serão oferecidos para adentrar o ACL.

1.4 Objetivos

O objetivo desse trabalho é realizar uma análise das diferentes escolhas que um consumidor pode ter ao adentrar o ACL, considerando contratos padrões com diferentes preços e demandas contratadas, assim como diferentes cenários de preços no mercado *spot*, de consumo e de geração fotovoltaica. As entregas específicas desse trabalho podem ser resumidas como se seguem:

- Criação de um modelo matemático capaz de avaliar a melhor tomada de decisão para o consumidor e que cujo funcionamento se assemelha ao praticado pelo mercado;
- Comparar diferentes contratos padrões oferecidos pelos comercializadores varejistas;
- Considerar diferentes cenários de preços;
- Considerar diferentes cenários de consumo;
- Considerar diferentes cenários de geração fotovoltaica;
- Considerar diferentes níveis de aversão ao risco e como isso impacta na tomada de decisão do consumidor.

1.5 Estruturação do trabalho

O trabalho foi estruturado da seguinte forma:

- Revisão Teórica: Explicação de como funciona o setor elétrico brasileiro, do que é constituído o mercado livre e como são realizadas as operações de compra e venda no mesmo;
- Formulação: Explicação de como se deu a formulação do problema a ser resolvido, assim como a formulação matemática de sua solução;
- Resultados numéricos: Os resultados obtidos com a formulação proposta;

- Conclusão e propostas futuras: Nesse capítulo são apresentadas as conclusões acerca do trabalho com base nos dados apresentados e então são propostas melhorias a serem feitas no mesmo.

2 Revisão teórica

2.1 Estrutura do setor elétrico brasileiro

Para entender o escopo desse trabalho antes é necessário entender o funcionamento do Setor Elétrico Brasileiro (SEB), que é operado pelas seguintes entidades:

- Ministério de Minas e Energia (MME): Órgão do governo federal responsável pela condução das políticas energéticas do país. Entre suas principais obrigações destacam-se a formulação e a implementação de políticas para o setor energético, de acordo com as diretrizes definidas pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) ([MINAS E ENERGIA \(MME\)](#), s.d.).
- Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel): Autarquia em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia criada para regular o Setor Elétrico Brasileiro. Suas principais atribuições são regular a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, fiscalizar as concessões, permissões e os serviços de energia elétrica, implementar as políticas e diretrizes do governo federal relativas à exploração da energia elétrica e estabelecer tarifas ([AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA \(ANEEL\)](#), s.d.[a]).
- Conselho Nacional de Política Energética (CNPE): Órgão de assessoramento do Presidente da República para formulação de políticas e diretrizes de energia, políticas essas que visam preservar o interesse nacional, promover o desenvolvimento, ampliar o mercado de trabalho, valorizar os recursos energéticos e proteger os interesses do consumidor quanto a preço, qualidade e oferta dos produtos ([MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA \(MME\)](#), s.d.[b]).
- Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE): Órgão que tem a função de acompanhar e avaliar permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético em todo o território nacional ([MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA \(MME\)](#), s.d.[a]).
- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE): Pessoa jurídica de direito privado, sem fins lucrativos, que tem a atribuição de viabilizar e gerenciar as operações de compra e venda de energia elétrica entre agentes do mercado. Entre as principais atividades da CCEE estão o registro dos contratos de comercialização de energia elétrica e a contabilização dos montantes comercializados nos mercados livre e regulado. Outra tarefa é realizar a liquidação financeira dos valores das operações de compra e venda

no mercado de curto prazo. A CCEE é responsável, ainda, pelo cálculo e divulgação do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) e pela realização de leilões de energia nova, por delegação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) ([MEGAWHAT, s.d.](#)).

- Empresa de Pesquisa Energética (EPE): Órgão que tem por finalidade prestar serviços ao Ministério de Minas e Energia (MME) na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, cobrindo energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados e biocombustíveis ([EPE, s.d.](#)).
- Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS): Órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) e pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país, sob a fiscalização e regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) ([OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO \(ONS\), s.d.](#)).
- Agentes: Geradores, transmissores, distribuidoras e comercializadoras de energia. Todos os agentes devem ser associados a CCEE, com exceção dos transmissores. São classificados em:
 - Concessionária de serviço público de geração: Agente que recebe do poder concedente a outorga de concessão para prestar serviço público. No setor elétrico, por meio de licitação, o agente recebe a outorga para a exploração dos serviços de geração, distribuição ou de transmissão de energia elétrica. O concessionário de transmissão e/ou distribuição é remunerado por tarifa, definida de acordo com regras do poder concedente, e deve observar os requisitos técnicos definidos para a prestação dos serviços ([MEGAWHAT, S/D\[d\]](#)). Os agentes geradores injetam a energia que geram na rede de distribuição local, que então é injetada diretamente no Sistema Interligado Nacional.
 - Produtores Independentes de Energia Elétrica: pessoa jurídica ou conjunto de empresas reunidas em consórcio que recebem concessão ou autorização da Aneel para produzir energia elétrica. A produção pode ser destinada ao comércio de toda ou de parte da energia produzida ([MEGAWHAT, S/D\[g\]](#)).
 - Autoprodutores de Energia Elétrica: Consumidor que recebe concessão, autorização ou registro para produzir energia elétrica destinada a seu uso exclusivo. O volume autoproduzido pode substituir ou complementar o montante de energia contratado de outro fornecedor. O autoprodutor pode comercializar o excedente de energia elétrica produzida – para tal, ele deve registrar-se na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Porém, não é necessário o registro se a geração ocorrer no mesmo local onde haverá o consumo e se essa produção for inferior à carga (ou seja, se não houver exportação para o sistema) ([MEGAWHAT, S/D\[a\]](#)).

- Comercializadores de energia: Agente autorizado pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) para compra e venda de energia de geradores, consumidores ou até mesmo de outras comercializadoras (MEGAWHAT, S/D[c]).
- Comercializador varejista: Comercializadora ou geradora de energia elétrica responsável por representar pequenas cargas na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) (MEGAWHAT, S/D[b]).
- Consumidor Livre: Consumidor de energia elétrica com direito a negociar livremente a compra e venda desse insumo, a partir do momento em que ele migra para o mercado livre. Nesta condição, o consumidor livre pode escolher o fornecedor da energia, bem como as condições do suprimento (MEGAWHAT, S/D[e]). Para o ano de 2024, se enquadrará como livre consumidores que são atendidos em tensão igual ou superior a 2,3 kV (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL), 2021).
- Agentes de distribuição: Empresa titular de concessão ou permissão para a distribuição de energia elétrica ao consumidor situado em sua área de atendimento, prevista em contrato (MEGAWHAT, S/D[f]).
- Agentes de transmissão: Empresa responsável pela atividade de transmissão de energia. São empresas que operam linhas de transmissão que fazem o escoamento da energia de usinas para os mercados consumidores (MEGAWHAT, S/D[h]).

2.2 Ambiente de contratação regulado (ACR)

Comumente chamado de mercado cativo, é o segmento do mercado no qual se realizam as operações de compra e venda de energia elétrica entre agentes vendedores e agentes de distribuição, precedidas de licitação, ressalvados os casos previstos em lei, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL), s.d.[c]). Nesse setor, os preços não são negociados livremente entre consumidores e geradores, sendo que os mesmos são formados a partir de leilões para garantir o mínimo preço possível para o consumidor.

2.3 Ambiente de contratação livre (ACL)



Figura 2.1 – Representação do mercado livre e do cativo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS COMERCIALIZADORES DE ENERGIA, 2023)

O ACL, ou mercado livre, representa uma modalidade na qual os consumidores podem negociar livremente a energia elétrica com os fornecedores. No mercado livre, os consumidores podem escolher qual fornecedor preferem, entre centenas de empresas habilitadas para prestar o serviço de comercialização de energia elétrica, negociando preços, prazos e diversas condições específicas, inclusive a forma de pagamento e a fonte de geração da energia elétrica que consomem (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS COMERCIALIZADORES DE ENERGIA, 2023).

Até o presente momento do dia 12/12/2023, somente podem ingressar no mercado livre consumidores com demanda contratada mínima de 500 kW. A partir de 2024, qualquer consumidor do Grupo B poderá participar do mercado livre, segundo a Portaria 50 do MME (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME), 2022). Com a abertura da Consulta Pública 137 do Ministério de Minas e Energia (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME), s.d.[c]), a tendência é que haja uma abertura integral do mercado de energia elétrica para todos os consumidores.

Segundo um estudo da Abraceel ([COMERCIALIZADORES DE ENERGIA \(ABRACEEL\), s.d.](#)), o preço a ser pago pela energia no mercado livre é menor do que no cativo, além de que o preço da energia do mercado cativo está aumentando acima do esperado pela inflação, já no livre, abaixo, como mostra a figura 2.2

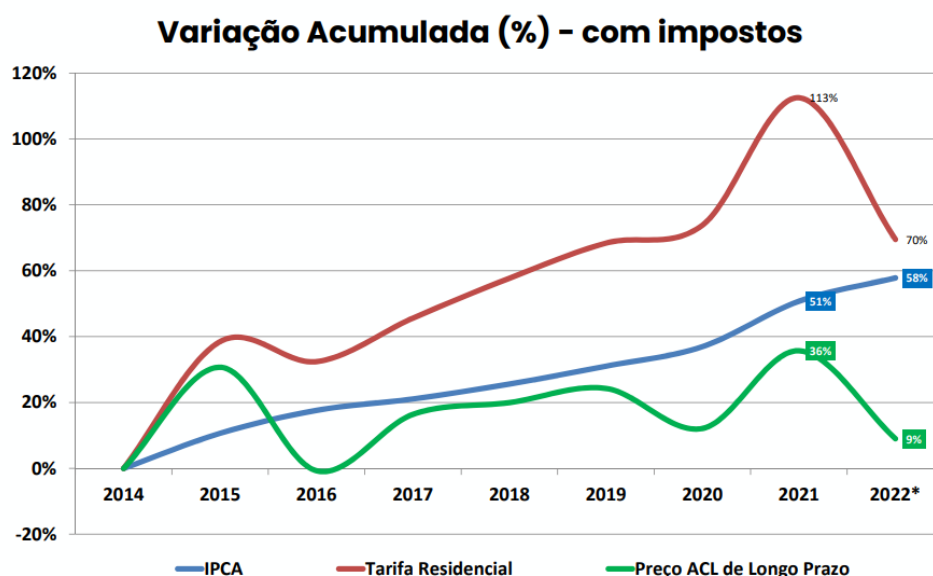


Figura 2.2 – Variação acumulada (%) do preço da energia no mercado cativo e livre ([COMERCIALIZADORES DE ENERGIA \(ABRACEEL\), s.d.](#))

Dito isso, a migração para o ACL se mostra majoritariamente vantajosa ao consumidor de energia elétrica.

2.4 Formação de preços

No Brasil, o mercado de energia opera com a combinação de um modelo *pool* com um modelo bilateral. Existem duas estratégias a serem adotadas para o mercado *pool*, sendo o *loose pool*, ou formação de preço por oferta, e o *tight pool*, ou formação de preço por modelo ([MESQUITA, 2022](#)).

No sistema de preço por oferta, os agentes do setor submetem a quantidade de energia que estão dispostos a produzir por determinado preço de maneira descentralizada, já no sistema de preço por modelo, o operador, no caso do Brasil o ONS, se utiliza de modelos computacionais, como o Newave, Decomp e Dessem, para fazer simulações acerca de como o sistema elétrico brasileiro irá se comportar dentro de um horizonte de tempo no futuro em termos de geração e consumo e, a partir disso, determinar seu funcionamento ótimo, decidindo quais usinas deverão ser colocadas em operação, ou despachadas, para atender a demanda. A partir do atendimento ótimo da demanda é calculado o custo marginal de operação (CMO) ([MARZANO; MELO, 2003](#)), que é o custo de o sistema produzir uma

unidade a mais de energia para o SIN, para determinar, de forma centralizada, o preço da energia (CCEE, 2023). Devido à matriz elétrica do Brasil ser predominantemente hidráulica, uma fonte renovável e barata de energia, uma vez já construída, os valores do CMO tendem a ser relativamente baixos em períodos chuvosos, apresentando um aumento em períodos de baixa pluviosidade.

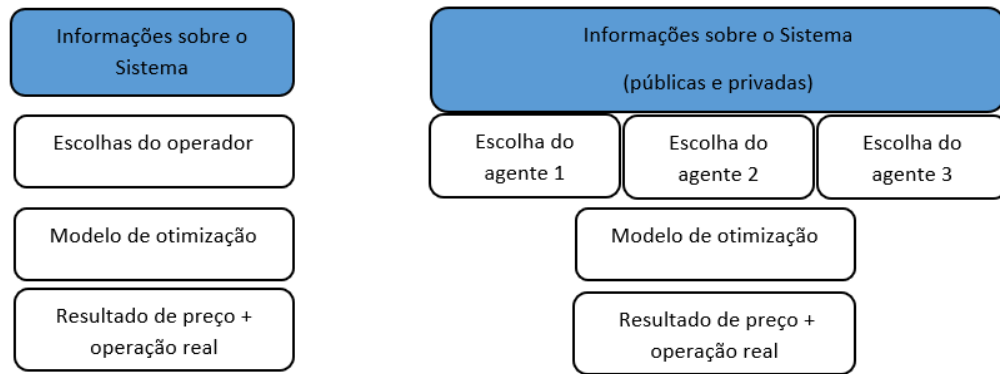


Figura 2.3 – Diferença entre a formação de preço por modelo (esquerda) e por oferta (direita) (CCEE, 2023)

No Brasil, utiliza-se a alternativa de formação de preço por modelo. Nesse modelo, o ONS atua como órgão centralizador, realizando o planejamento da operação do país a fim de garantir o pleno atendimento da carga.

2.4.1 Mundo físico x mundo contábil e Mercado de Curto Prazo (MCP)

A CCEE é a responsável pela contabilização de geração e consumo de energia dentro do Sistema Interligado Nacional (SIN), tanto no mercado cativo quanto no livre. O SIN foi criado em 1998, com o objetivo de interligar os geradores aos consumidores. Devido às dimensões continentais do Brasil, o SIN foi dividido em quatro subsistemas, Sudeste/Centro Oeste, Sul, Nordeste e Norte. Há também o estado de Roraima que ainda não faz parte do SIN. (MESQUITA, 2022).



Figura 2.4 – Divisão dos submercados do SIN (WITZLER, 2021)

Uma vez que geradores e consumidores estão interligados, contabilmente não faz diferença onde se encontra quem produz a energia ou onde se encontra quem consome, logo, um consumidor no Rio Grande do Sul pode comprar energia de um comercializador de São Paulo que comprou seu montante de um gerador do Rio de Janeiro, por exemplo, desde que todas essas transações sejam devidamente registradas na CCEE. No mundo físico, toda essa energia será gerada e consumida de forma instantânea, porém, no mundo contábil não é exatamente assim. Podem haver disparidades entre o que foi comprado por um consumidor por meio de um contrato de energia e o que foi efetivamente consumido pelo mesmo, porém isso não tem interferência alguma no planejamento da operação realizado pelo ONS, que só garante que o consumo será igual à geração, criando uma assimetria entre mundo contábil e mundo físico.

A fim de resolver esse problema, existe o que é chamado de Preço de Liquidação das Diferenças (PLD), calculado em R\$/MWh. Esse mecanismo majora as diferenças entre a energia consumida e a contratada a um valor calculado pela própria CCEE baseado no CMO a fim de equilibrar contabilmente a operação energética como um todo. Ou seja, se um agente contratou 100 MWh para um certo período mas só utilizou 90 MWh no mesmo período, ele será ressarcido de 10 MWh vezes o PLD daquele horário. Essa contabilização acontece no ambiente chamado de Mercado de Curto Prazo (MCP), onde são liquidadas as diferenças entre os montantes gerados, contratados e consumidos. Atualmente, essa contabilização se dá de forma horária e há limites impostos pela Aneel para o valor do PLD. (MEGAWHAT, s.d.).

Quando um agente da CCEE está nessa situação de ter que comprar energia no MCP para que ele atinja seu equilíbrio contábil dizemos que ele está exposto financeiramente no MCP. Aqui vale uma ressalva de que ao se fazer a comparação entre o valor dos preços dos contratos existentes no ACL e o Preço de Liquidação de Diferenças, que no dia 10 de dezembro de 2023, percebe-se que o PLD atingia um valor médio para o dia de 69,04 R\$/MWh para o dia (CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE), s.d.), enquanto que existem contratos bilaterais firmados entre comercializadores e consumidores que ultrapassam os 200 R\$/MWh. Isso leva ao questionamento da razão de o consumidor não preferir ficar 100% exposto ao MCP, uma vez que seus preços se mostram aparentemente mais baixos.

A explicação para isso não acontecer se deve majoritariamente a dois motivos. O primeiro deles é que o PLD é calculado em base horária pela CCEE desde a implementação do preço horário em 2021 (GRUGEEN ENERGIA, s.d.), o que significa que o PLD pode apresentar flutuações muito grandes em um curto período de tempo. Dessa maneira, o consumidor que estiver 100% exposto ao PLD em um momento que esse valor se encontra demasiadamente alto terá consequências financeiras graves. Logo, deve haver um *trade-off* entre segurança e economia para evitar essas situações. O outro motivo é que, como foi mencionado anteriormente, todos os contratos de compra e venda de energia são registrados na CCEE, e se houver um número grande de consumidores que não realizam compra de contratos para esse fim, isso pode causar um sinal econômico errôneo à Câmara, o que pode, por consequência, causar um desacoplamento ainda maior entre o mundo físico e o mundo contábil. Sendo assim, existem penalidades para os consumidores que permanecem expostos ao PLD durante grandes períodos de tempo (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL), s.d.[b]) justamente para evitar essas situações.

2.5 Comercialização varejista

A comercialização varejista é feita por um agente varejista, que pode ser um comercializador ou um gerador e fica responsável por representar consumidores de energia junto à CCEE. Com o objetivo de facilitar a migração de consumidores para o mercado livre, o agente varejista representa o consumidor na CCEE. O comercializador varejista tem a responsabilidade de fazer a compra da energia para o consumidor, a gestão do uso e a intermediação entre o consumidor e a CCEE. O modelo de comercialização varejista reduz burocracias uma vez que o cadastro do consumidor é simplificado e o cumprimento das obrigações junto à CCEE fica a cargo do comercializador varejista, facilitando a migração do consumidor ao mercado livre (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS COMERCIALIZADORES DE ENERGIA, 2023).

Com a abertura do mercado de energia para o Grupo A, representado pelos consu-

midores atendidos em tensão igual ou superior a 2,3 kV, que ocorrerá em janeiro de 2024, segundo a Portaria 50 do MME ([MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA \(MME\), 2022](#)), o aprimoramento da comercialização varejista se tornou objeto de prioridade para a Aneel no ano de 2023, haja vista que, com o enorme volume esperado de migrações a serem realizadas nesse período, a comercialização varejista será de grande valia para uma maior eficiência do mercado. O aprimoramento dessa atividade econômica foi objeto da Consulta Pública 28/2023 da Aneel, justamente com vistas à abertura integral do mercado de energia, tanto para o Grupo A quanto para o Grupo B, que consiste nos consumidores atendidos em tensão inferior a 2,3 kV ([AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA \(ANEEL\), 2021](#)).

2.6 Contratos de energia no ACL

Como dito anteriormente, os termos de um contrato podem ser livremente negociados entre as contrapartes no ACL. Entre os principais termos que serão abordados nesse trabalho, se destacam o preço, a demanda contratada, a modulação, a flexibilidade e o prazo. Um contrato com modulação *flat* é caracterizado pelo fornecimento constante de energia ao longo de um período, já um contrato modulado tem seu fornecimento baseado na curva de consumo do consumidor. Quanto à flexibilidade, um contrato inflexível fornece exatamente a quantidade de energia previamente acordada no contrato, já um contrato flexível tolera uma margem de diferença entre a energia consumida e a contratada, como exemplificado na figura 2.5, que mostra a contratação de um montante de energia, em MWh, em função do período de um ano. Já em relação ao prazo, esse termo faz referência apenas ao horizonte de tempo que o contrato irá cobrir o fornecimento ao consumidor ([ENERGIA, s.d.](#)). Ao escolher um contrato, o consumidor pode escolher um contrato mais barato que não abarcará plenamente sua carga, se expondo um pouco às flutuações de preço do ACL, ou então um contrato mais caro que irá garantir que ele não ficará, em nenhum momento, exposto no MCP. O que determinará isso é o nível de aversão ao risco desse consumidor.

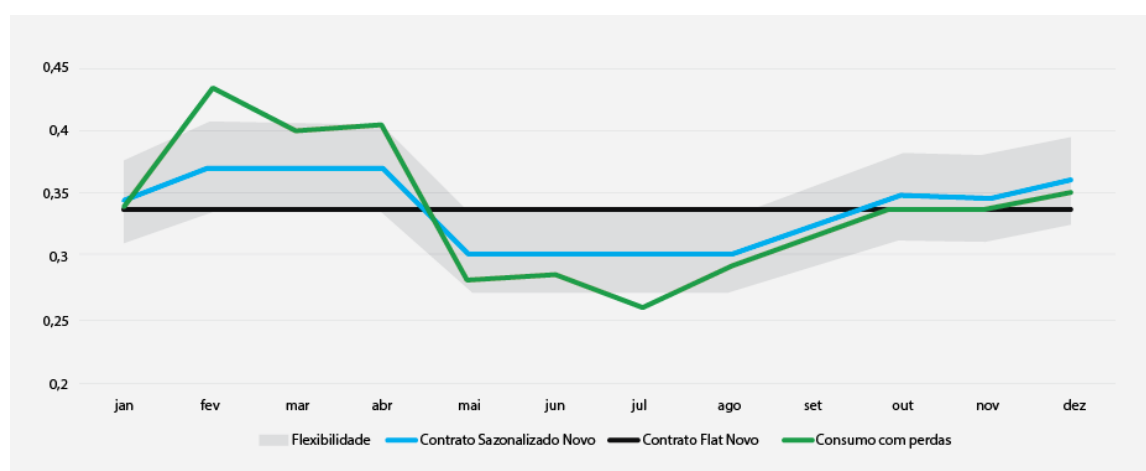


Figura 2.5 – Características de contratos ([ENERGIA, s.d.](#))

Quanto ao preço, no ACL os contratos bilaterais são valorados de maneira similar ao Preço de Liquidação das Diferenças, em R\$/MWh, e a demanda contratada é a potência a qual o comercializador se compromete a entregar ao consumidor que o contratou a cada instante, medido em watts. Mais especificamente, os valores dos contratos de energia no ACL são calculados se baseando no perfil de consumo do consumidor em questão e nos preços projetados para o PLD no ano seguinte, seguindo uma cadeia de critérios pré-definidos (FER-NANDEZ, 2019). Assim, o valor cheio de um contrato pode ser calculado pela multiplicação do seu preço pela sua demanda contratada e pelo período que o mesmo abarca.

2.7 Energia fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é uma fonte de energia renovável e limpa que utiliza a radiação solar para gerar eletricidade. Para tal, utiliza-se de um dispositivo semicondutor denominado célula solar ou célula fotovoltaica, que pode ser de silício monocristalino ou outros materiais semicondutores de camada fina. Um sistema fotovoltaico é um conjunto de células fotovoltaicas e outros equipamentos usados para gerar quantidades consideráveis de eletricidade. Ela funciona da seguinte maneira (PORTAL SOLAR, 2023):

- Captação de energia solar pelo sistema fotovoltaico;
- Transformação da corrente contínua coletada pelos painéis em corrente alternada pelo inversor;
- Uso da energia pela residência;
- Medição da energia gerada pelos painéis e da injeção de energia na rede de distribuição ou nas baterias ligadas ao sistema pelo medidor bidirecional de energia. Se o sistema é ligado diretamente na rede de distribuição de energia local, ele é denominado de sistema *on-grid*, caso contrário, ele é denominado *off-grid*.

Um consumidor que possui um sistema fotovoltaico ligado à rede de distribuição produzirá energia para si e o excedente será injetado diretamente no sistema de distribuição, de acordo com o Marco Legal da Geração Distribuída (BRASIL, s.d.). Sendo assim, em horários de pico solar é possível, com um bom dimensionamento do sistema, suprir o próprio consumo e produzir excedentes, que serão direcionados à distribuidora, havendo um ressarcimento para o cliente proporcional à energia que foi injetada.

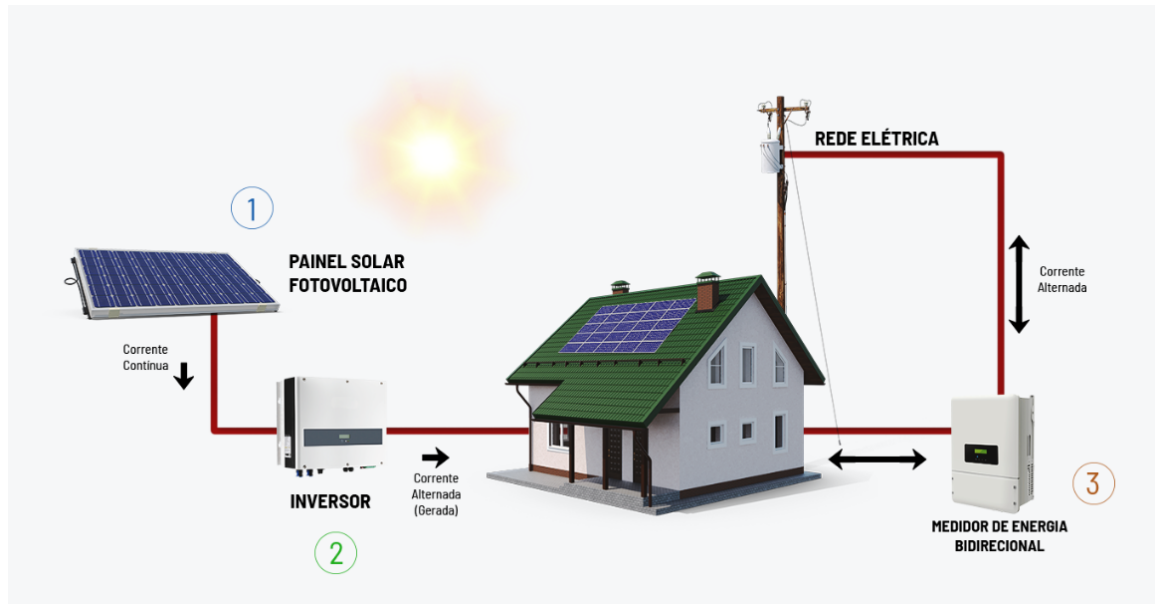


Figura 2.6 – Funcionamento de um sistema fotovoltaico *on-grid*. (SOLAR, s.d.)

Caso esse sistema não seja ligado à rede de distribuição, ele será ligado às baterias que irão armazenar o excedente produzido para ser utilizado em horários sem a presença de irradiação solar. Essa estratégia é muito utilizada em regiões remotas que não têm acesso ao sistema de distribuição ou possuem um acesso frágil ao mesmo, como fazendas isoladas.

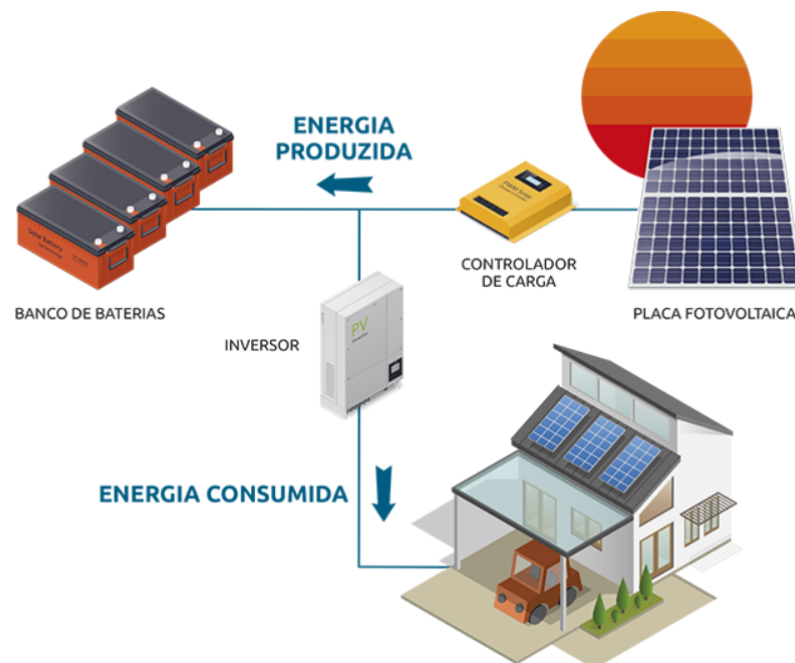


Figura 2.7 – Funcionamento de um sistema fotovoltaico *off-grid*. (AQUECEDORES, s.d.)

No Brasil, o uso de energia solar é muito vantajosa ao consumidor pelo potencial de irradiação solar presente em todo o território brasileiro, como mostra a figura 2.8, em que áreas com maior incidência solar possuem coloração mais escura, medidos em $\text{Wh/m}^2.\text{dia}$.



Figura 2.8 – Mapa de potencial de energia solar. (CENTRO DE CIÊNCIA DO SISTEMA TERRESTRE (CCST) / INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), s.d.)

Ao se comparar com um mapa da Europa usando a mesma métrica, vemos uma vantagem significativa do Brasil no quesito de potencial de geração solar, como mostra a figura 2.9:

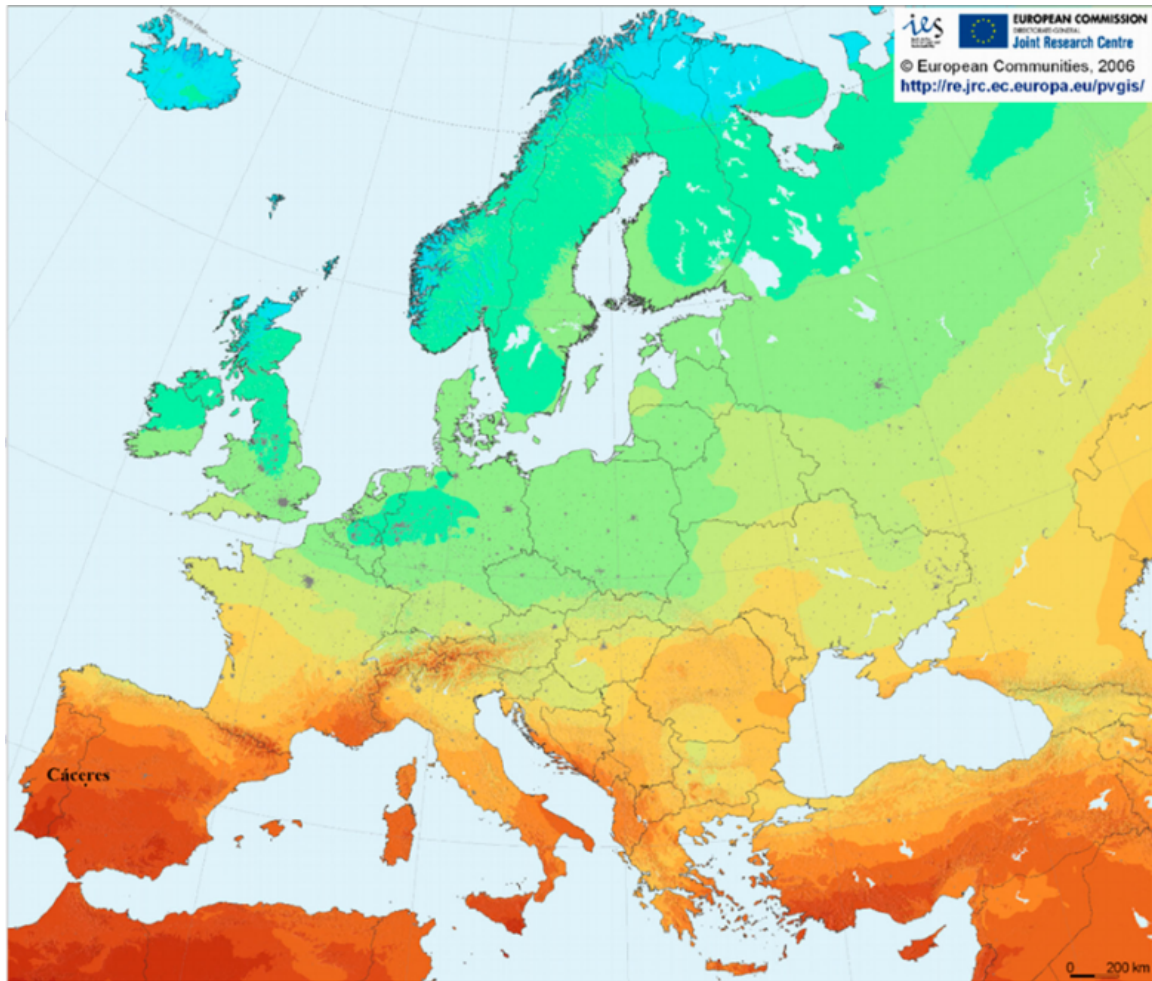


Figura 2.9 – Mapa de potencial de energia solar da Europa (JOINT RESEARCH CENTRE, s.d.).

2.7.1 Sistema fotovoltaico *zero-grid*

De acordo com a Lei 14.300, de 6 de Janeiro de 2022 (BRASIL, s.d.), um consumidor livre não pode ter um sistema fotovoltaico que injete energia na rede. Isso se deve ao fato de que, pelo previsto em Lei, o consumidor que possui energia fotovoltaica e a injeta na rede terá seu consumo abatido além dos horários em que a energia fotovoltaica estava suprimindo seu consumo, sendo proporcionalmente ressarcido por isso. Efetivamente, ele está gerando créditos perante a distribuidora local para serem usados posteriormente.

Dentro do mercado livre, o consumidor que possui um sistema fotovoltaico próprio se enquadra na categoria de auto-produtor, e como visto anteriormente, nessa categoria o agente pode somente gerar o suficiente para suprir seu próprio consumo, não sendo possível de produzir excedentes.

Portanto, para que seja possível de operar no mercado livre ainda fazendo uso de um sistema fotovoltaico para abater parte do consumo, é necessário que esse sistema seja um sistema fotovoltaico *zero-grid*. Diferente do sistema convencional, esse contém um dispositivo que impede a injeção de energia na rede, limitando a produção de energia somente para

suprir a carga do consumidor.

3 Formulação

3.1 Formulação geral do problema e premissas

O problema irá consistir em analisar a comparação do custo esperado de compra em contratos bilaterais padronizados e de transações no mercado *spot*. Para tal, seguem as especificidades do problema:

- Para o problema em questão, será considerado que o mercado de energia já está aberto para todos os consumidores, sejam os que recebem fornecimento em baixa ou alta tensão.
- A unidade consumidora em questão será um condomínio fictício com 312 apartamentos. O condomínio paga uma fatura única de eletricidade;
- O condomínio conta com 790 módulos fotovoltaicos instalados em sua área disponível no telhado de 500 watts cada;
- O período a ser considerado para contabilização no MCP, medição de consumo e de geração de energia solar será de granularidade semanal.

Os números adotados para a formulação do problema foram escolhidos a fim de se criar um ambiente em que o consumidor possui uma demanda um pouco maior que a demanda residencial usual, assim podendo firmar contratos de potência maiores e mais parecidas com o que é feito no ambiente de contratação livre, uma vez que ainda não se tem parâmetros de tal. Para a geração de energia solar, o número foi adotado pensando que a verticalidade de um condomínio deixaria uma relação módulos/apartamento menor, fazendo com que a geração solar nunca ultrapasse o consumo em caráter semanal, que é o que necessita de acontecer para que o consumidor seja enquadrado como auto-produtor e possa operar no mercado livre. No escopo desse trabalho, está sendo considerado que, em granularidade semanal, ao se fazer a somatória da geração solar total da semana, a mesma não ultrapassa o consumo realizado pelo consumidor. A partir desse problema específico, foram criados artificialmente 20 cenários de consumo, preços e geração fotovoltaica para serem analisados.

3.2 Formulação dos contratos bilaterais

Para criar os três contratos bilaterais existentes no presente trabalho foram definidos valores arbitrários para o preço e o montante de energia que os mesmos oferecem. Isso

se deve ao fato de que a abertura de mercado para o grupo que está sendo tratado neste trabalho, o grupo B, ainda é um fato recente e que não é possível de se ter parâmetros de preços e montantes de energia que serão oferecidos nesse novo modelo. Dessa maneira, os valores usados para os contratos tem a função de gerar saídas numéricas comparativas entre diferentes cenários, sendo possível a calibração do modelo com posterior coleta de parâmetros mais condizentes com o que será praticado no mercado.

Ademais, dado as recomendações na Nota Técnica da Aneel a respeito do contrato padrão a ser adotado pelos varejistas ([AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA \(ANEEL\), 2023](#)), os três contratos seguirão modulação *flat* e com prazo contratual de um ano.

Assim, a formulação das condições dos contratos ficaram como se segue:

- Contrato 1: 115,19 R\$/MWh, potência máxima de 71.4 kW;
- Contrato 2: 114,00 R\$/MWh, potência máxima de 89.2 kW;
- Contrato 3: 112,00 R\$/MWh, potência máxima de 95.2 kW.

3.3 Formulação das variáveis estocásticas

Para criar artificialmente os 20 cenários de preço, consumo e geração fotovoltaica, utilizou-se a linguagem de programação R. A escolha dessa linguagem se deve ao fato de a mesma conter uma biblioteca com um modelo próprio de previsão de valores baseada em autorregressão, ou seja, o modelo constrói séries artificiais de uma variável estocástica baseadas na sazonalidade da série original.

3.3.1 Formulação dos cenários de consumo

Para a variável estocástica de consumo, utilizou-se os dados de consumo e de número de unidades consumidoras no mercado cativo disponíveis no anuário estatístico do site da Empresa de Pesquisa Energética, ([EPE, s.d.](#)). Para tal, se utilizou do consumo total da classe residencial no mercado cativo no Distrito Federal em 2022, equivalente a 2448 GWh. A partir disso, esse consumo foi dividido pelo número de consumidores residenciais da mesma área, ano e mercado, o que equivale a 1.010.000 unidades consumidoras. Com esse número, o consumo por unidade consumidora foi dividido pelo período analisado, ou seja, 52 semanas. Tendo esse número em mãos, esse consumo por unidade consumidora foi multiplicado pelo número de apartamentos presentes no condomínio fictício tratado nesse trabalho, 312. Assim, chega-se a um consumo semanal de 14,575 MWh para as 312 unidades consumidores presentes nesse condomínio. Assim, se utilizou esse número como dado de entrada para a montagem de cenários em R.

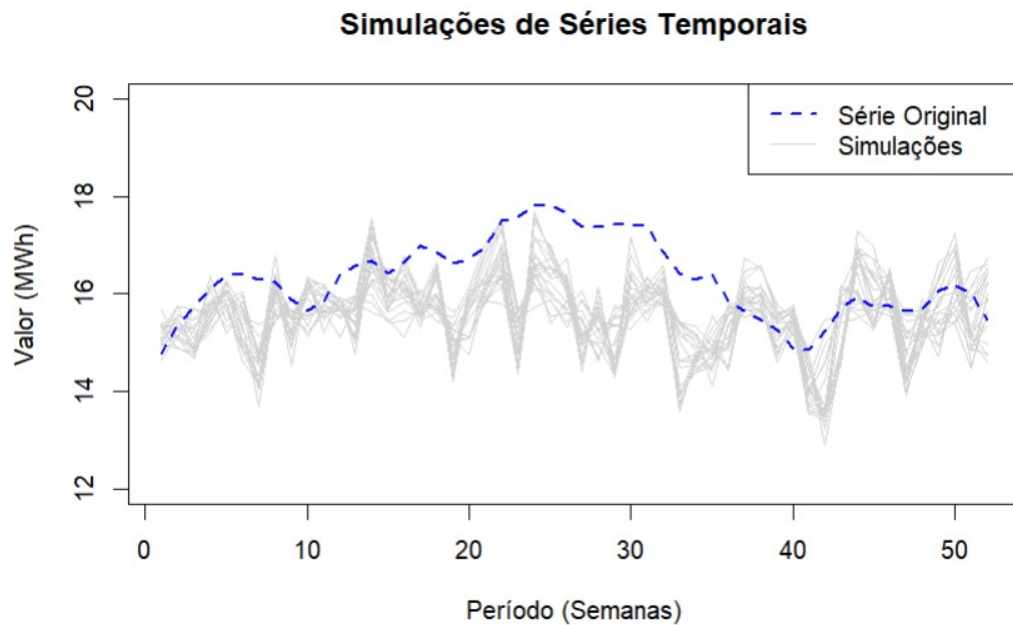


Figura 3.10 – Cenário original e cenários artificiais para o consumo

3.3.2 Formulação dos cenários de preço

Para a variável estocástica de preços, utilizaram os valores médios semanais do PLD de 2022 para o submercado sudeste/centro-oeste, disponíveis em ([CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA \(CCEE\), s.d.](#)), como base para montagem dos 20 cenários utilizando a linguagem R. Aqui vale mencionar que não foram estabelecidos valores de PLD mínimo e PLD máximo, utilizados no Brasil para assegurar que não haverão preços muito altos ou muito baixos, com vistas a conferir mais liberdade para o cenário de preços, construindo um ambiente em que há pouca influência do regulador na formação de preços.

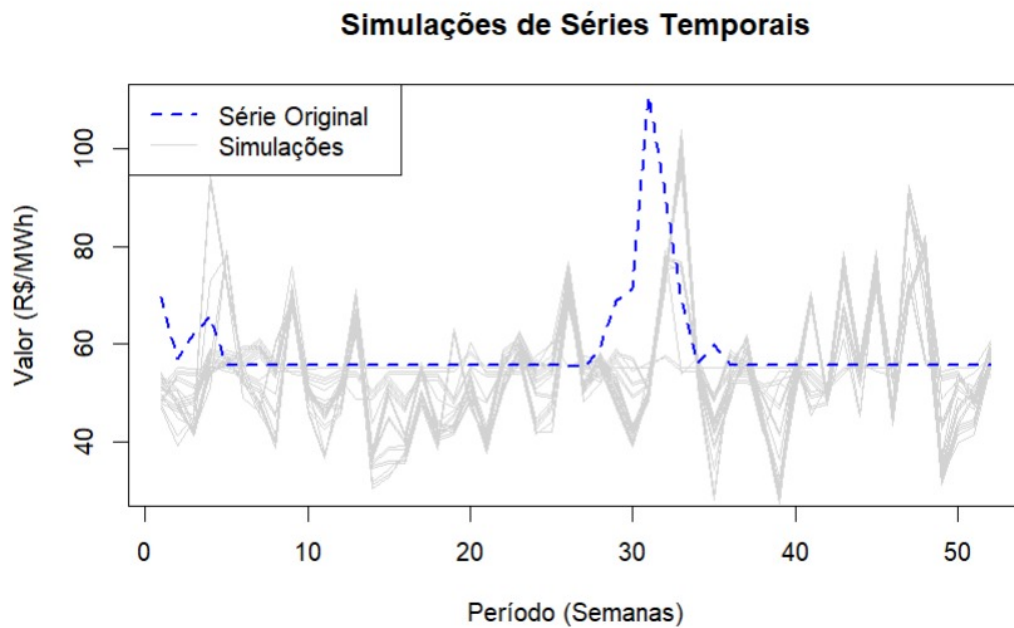


Figura 3.11 – Cenário original e cenários artificiais para o PLD

3.3.3 Formulação dos cenários de geração fotovoltaica

Para a variável estocástica de geração fotovoltaica, utilizou-se os valores médios de irradiação solar diária de 2017 no plano horizontal, em $\text{Wh/m}^2.\text{dia}$, no Distrito Federal, disponível em ([CENTRO DE CIÊNCIA DO SISTEMA TERRESTRE \(CCST\) / INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS \(INPE\)](#), s.d.). A seguir, o valor foi multiplicado por 7 para se obter o valor de irradiação solar média por semana, que é o intervalo de tempo que está sendo discutido nesse projeto. A seguir, multiplicou-se esse valor pela eficiência esperada de um módulo fotovoltaico, estimada em 20% ([DESCONHECIDO\(S\)](#), [Ano Desconhecido](#)), depois esse valor foi multiplicado pela eficiência de um sistema fotovoltaico, estimada em 75% ([SMA SOLAR TECHNOLOGY AG](#), s.d.), para depois dividir esse valor pela área de um módulo, estimada em $1,65 \text{ m}^2$ ([PORTAL SOLAR](#), s.d.).

Com o valor de geração fotovoltaica média por módulo, multiplicou-se esse valor pelo número de módulos existentes no condomínio fictício tratado neste trabalho, no caso, 790 módulos. Esse número específico foi uma estimativa do número de módulos que caberiam na cobertura de um condomínio que contém 312 apartamentos. Além disso, a estimativa desse número se deu para assegurar que o condomínio tivesse uma produção de energia solar o suficiente para ter impacto em seu consumo, mas sem ultrapassá-lo, dado as diretrizes da geração fotovoltaica *zero-grid*. Em seguida, esse valor foi inserido em uma simples rotina em Julia para gerar 52 valores aleatórios semelhantes para simular a geração média do sistema por semana durante 52 semanas para que depois esse vetor seja o dado de entrada de uma rotina em R que irá criar 20 séries de geração fotovoltaica baseada na série original.

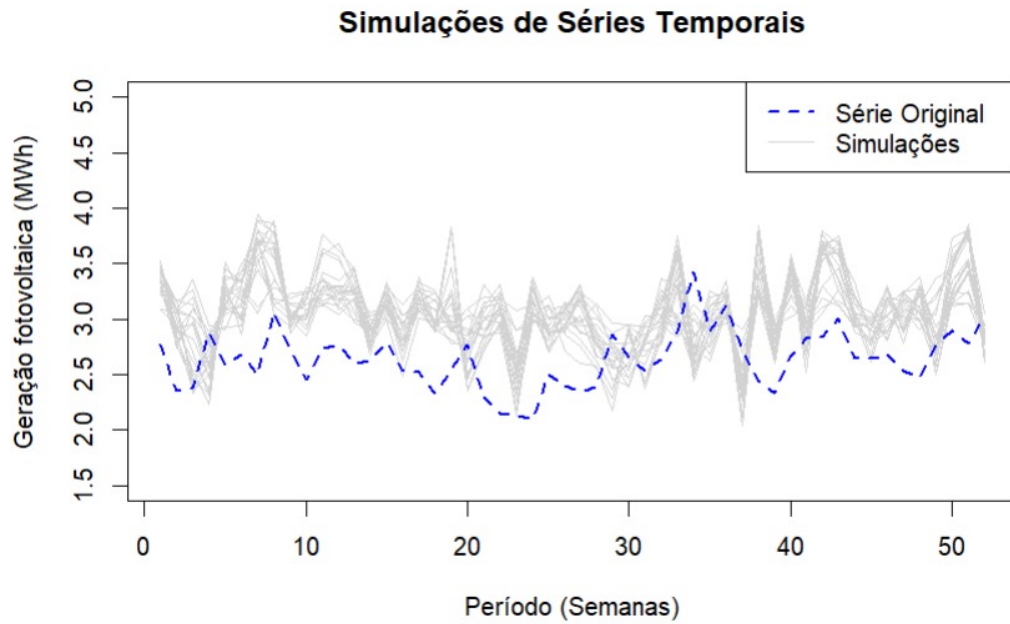


Figura 3.12 – Cenário original e cenários artificiais para a geração fotovoltaica

3.3.4 Modelagem do risco

Para mensurar os níveis de exposição ao MCP com o nível de risco que o consumidor está disposto a correr, foi utilizado na modelagem o conceito de *Conditional value at risk* (CVaR), uma técnica do mercado financeiro. Essa técnica leva em consideração o *value at risk*.

3.3.4.1 Value at risk (VaR)

O VaR é uma métrica utilizada para verificar o máximo potencial de perda em um certo intervalo de confiança específico, dado por α , que um agente estaria exposto. Em outras palavras, o VaR pode ser traduzido como a quantia em que as perdas não se excederão em $(1-\alpha)$ dos cenários (MESQUITA, 2022). No escopo desse trabalho, ele será representado pela letra ζ .

O VaR pode ser definido segundo a equação (PRADO; CHIKEZIE, 2023):

$$VaR = \text{minimizar } \{r \mid P(Custo \geq r) \leq (1 - \alpha)\} \quad (3.1)$$

Em que r é o retorno pertencente à distribuição do portfólio. Ou seja, a equação indica que a probabilidade de o custo ser maior que r deve ser menor ou igual que $(1-\alpha)$. No escopo desse trabalho, α foi definido como 95%, ou seja, o maior custo só pode ocorrer em 5% dos cenários analisados (PRADO; CHIKEZIE, 2023).

Porém, essa métrica não oferece uma estimativa da perda em casos em que a perda ultrapasse o valor limite, portanto será utilizada também outra métrica em conjunto com o

VaR, que é o CVaR.

3.3.5 Conditional Value at Risk (CVaR)

O CVaR, métrica também muito utilizada no setor elétrico, mede o quanto a perda média excedeu o VaR, ou o quão grande será a perda financeira que o consumidor está sujeito dentro dos $(1-\alpha)\%$ cenários possíveis. O CVaR também é associado ao nível de confiança α , que leva em consideração os possíveis eventos que possam causar riscos ao agente (MESQUITA, 2022).

De certa forma, é possível dizer que o CVaR responde à pergunta “Qual a perda média incorrida pelo agente nos $(1-\alpha)\%$ piores cenários?” e o VaR responde à pergunta “Qual a perda mínima incorrida pelo agente nos $(1-\alpha)\%$ piores cenários?” (ROCHA, 2018).

A escolha dessa métrica para avaliar o risco associado às decisões tomadas pelo consumidor também se deu pelo fato de que ela está sendo usada cada vez mais por agentes do mercado de energia ao redor do mundo, como geradores, grandes consumidores e varejistas (PRADO; CHIKEZIE, 2023).

A figura 3.13 ilustra o funcionamento das métricas do CVaR e VaR:

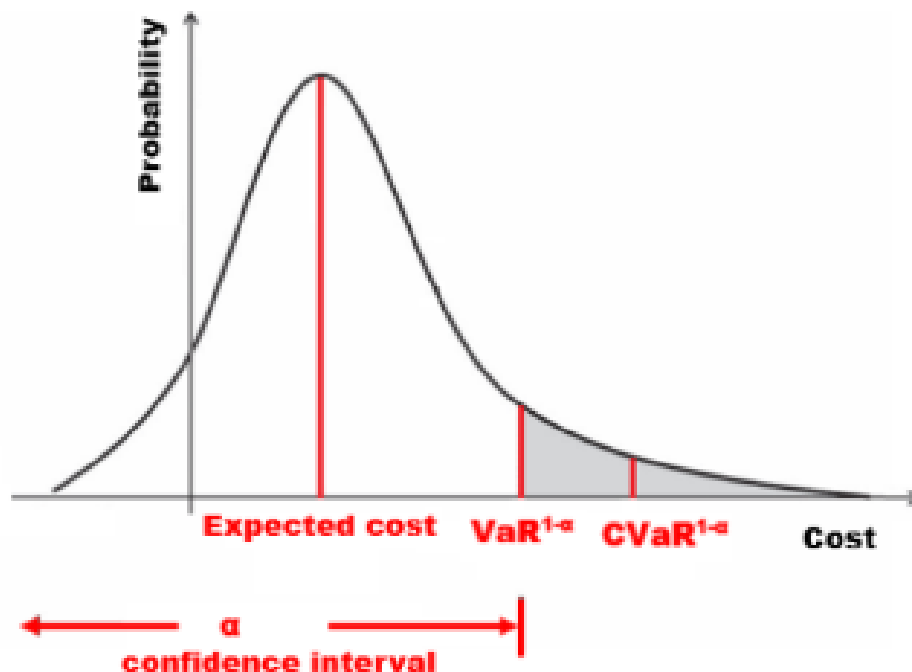


Figura 3.13 – Ilustração do CVaR e VaR (PRADO; CHIKEZIE, 2023)

3.3.6 Nível de aversão ao risco (β)

A fim de controlar a influência do CVaR dentro do modelo, o parâmetro β é incluído. Ele é um valor adimensional que multiplica o CVaR e atribui ao consumidor uma caracte-

rística mais conservadora, para valores mais altos desse índice, ou uma característica mais arrojada, para menores valores desse índice.

Quando não se considera o risco envolvido nessas transações, o valor de β é zero. Dessa maneira, nesse caso, o problema será lido sem a consideração de risco ao consumidor.

3.4 Formulação matemática

O método matemático adotado neste trabalho fundamenta-se em programação linear estocástica, visando fornecer uma distribuição de soluções que leve em consideração a probabilidade associada às suas variáveis estocásticas, que no caso, são equiprováveis. Para tal, foram produzidos artificialmente, por meio de uma rotina em linguagem R, 20 cenários possíveis para o Preço de Liquidação das Diferenças (PLD), assim como 20 cenários de consumo e 20 cenários de geração fotovoltaica. O tratamento para os cenários é feito de tal forma que o primeiro cenário é constituído pelo primeiro cenário de preços, pelo primeiro cenário de consumo e pelo primeiro de geração fotovoltaica. Já o segundo cenário é constituído pelo segundo cenário de preços, pelo segundo cenário de consumo e pelo segundo cenário de geração fotovoltaica, e assim sucessivamente.

A otimização do custo esperado pago pelo consumidor foi realizada através da minimização da função objetivo z conforme a equação 3.2, que foi formulada de maneira a representar os custos associados à aquisição de energia através de contratos, o custo esperado da compra de energia no mercado *spot*. Na otimização também é considerada a aversão ao risco por parte do consumidor. Dessa maneira, o problema se resume no seguinte conjunto de equações:

$$\begin{aligned}
 \text{Minimizar } z &= \sum_{c=1}^{\text{contratos}} \lambda(c) \cdot E_g(c) \quad (I) \\
 &+ \sum_{s=1}^{\text{cenarios}} \pi(s) \cdot \left[\sum_{t=1}^{\text{semanas}} \lambda(t,s) \cdot [E_c(t,s) - E_v(t,s)] \right] \quad (II) \\
 &- \frac{\beta}{10} \cdot \left(\zeta - \frac{1}{1-\xi} \cdot \sum_{s=1}^{\text{cenarios}} \pi(s) \cdot \eta(s) \right) \quad (III)
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Sujeito a:

$$\eta(s) \geq \zeta - \sum_{c=1}^{\text{contratos}} \lambda(c) \cdot E_g(c) + \left[\sum_{t=1}^{\text{semanas}} \lambda(t,s) \cdot [E_c(t,s) - E_v(t,s)] \right] \forall s \tag{3.3}$$

$$\eta(s) \geq 0 \quad \forall s \tag{3.4}$$

$$E_g(c) = \sum_{t=1}^{semanas} gc(c) \cdot Dp(t) \quad \forall c \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} E_c(t,s) &\geq 0 \quad \forall t,s \\ E_v(t,s) &\geq 0 \quad \forall t,s \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\sum_{c=1}^{contratos} eg(c) + bec(t,s) \cdot E_c(t,s) - bev(t,s) \cdot E_v(t,s) \geq consumo(t,s) - ph(t,s) \quad \forall t,s \quad (3.7)$$

$$E_g(c) = E_g(c) \cdot beg(c) \quad \forall c \quad (3.8)$$

$$1 \leq \sum_{c=1}^{contratos} beg(c) \leq \sum_{c=1}^{contratos} c \quad (3.9)$$

$$bec(t,s) + bev(t,s) \leq 1 \quad \forall t,s \quad (3.10)$$

$$bec(t,s), \quad bev(t,s), \quad beg(t,s) \in (0,1) \quad \forall t,s \quad (3.11)$$

Em que:

$\lambda(c)$: Custo de cada contrato bilateral c, em R\$/MWh;

$E_g(c)$: Energia contratada de cada contrato bilateral c, em MWh;

$\pi(s)$: Probabilidade de cada cenário s;

$\lambda(t,s)$: Valor do Preço de liquidação das diferenças da semana t e do cenário s;

$E_c(t,s)$: Energia comprada no MCP na semana t e no cenário s;

$E_v(t,s)$: Energia vendida no MCP na semana t e no cenário s ;

β : Nível de aversão ao risco;

ζ : *Value at risk*;

ξ : Intervalo de confiança;

$\eta(s)$: Variável auxiliar não negativa;

$Dp(t)$: Intervalo a ser considerado, no caso deste trabalho, o intervalo é de uma semana;

$bec(t,s)$: Variável binária para denotar a compra de energia no MCP;

$bev(t,s)$: Variável binária para denotar a venda de energia no MCP;

$beg(t,s)$: Variável binária para denotar a escolha de um contrato;

$consumo(t,s)$: Consumo do consumidor na semana t e cenário s ;

$ph(t,s)$: Geração solar própria do consumidor na semana t e cenário s .

3.4.1 Energia adquirida através de contratos bilaterais (Expressão I)

$$\sum_{c=1}^{contratos} \lambda(c) \cdot E_g(c) \quad (3.12)$$

A equação 3.12 faz referência ao custo total da aquisição de energia através de contratos bilaterais. Como os três contratos fictícios usados nesse trabalho são do tipo *flat* e inflexível, ao se escolher um contrato, o consumidor deve arcar com o custo inteiro do mesmo para todo o período em questão, ou seja, não há a opção de contratar somente uma parcela de potência do contrato ou somente durante um certo período do ano. Desse modo, $\lambda(c)$ denota o custo do contrato c , em reais por MWh, e $E_g(c)$ denota a energia total entregue pelo contrato bilateral no período em questão.

3.4.2 Energia adquirida através do MCP (Expressão II)

$$\sum_{s=1}^{cenarios} \pi(s) \cdot \left[\sum_{t=1}^{semanas} \lambda(t,s) \cdot [E_c(t,s) - E_v(t,s)] \right] \quad (3.13)$$

A equação 3.13 faz referência à média ponderada dos s cenários de compra e venda de energia no mercado *spot* valorado ao valor do PLD no cenário em questão. Nesse trabalho, os cenários foram tratados como equiprováveis.

3.4.3 Controle de risco pelo CVaR (Expressão III)

$$\frac{\beta}{10} \cdot \left(\zeta - \frac{1}{1 - \xi} \cdot \sum_{s=1}^{cenarios} \pi(s) \cdot \eta(s) \right) \quad (3.14)$$

A equação 3.14 denota o nível de risco que o consumidor está disposto a assumir. Para grandes valores de β , o consumidor se verá mais avesso ao risco, escolhendo ter sua demanda majoritariamente atendida por contratos para não depender das flutuações de preço no mercado *spot*.

3.4.4 Restrições adicionais

$$\eta(s) \geq \zeta - \sum_{c=1}^{contratos} \lambda(c) \cdot E_g(c) + \left[\sum_{t=1}^{semanas} \lambda(t,s) \cdot [E_c(t,s) - E_v(t,s)] \right] \forall s \quad (3.15)$$

A restrição denotada pela expressão 3.15 diz respeito aos cenários a serem evitados segundo o nível de aversão ao risco estabelecido previamente.

$$E_g(c) = \sum_{t=1}^{semanas} g_c(c) \cdot Dp(t) \quad \forall c \quad (3.16)$$

Já a restrição denotada pela expressão 3.16 diz respeito ao fato de que a energia total fornecida por cada contrato durante o período será a potência máxima fornecida por ele multiplicada pelo intervalo a ser analisado, em horas.

$$\sum_{c=1}^{contratos} eg(c) + bec(t,s) \cdot E_c(t,s) - bev(t,s) \cdot E_v(t,s) \geq consumo(t,s) - ph(t,s) \quad \forall t,s \quad (3.17)$$

A restrição denotada pela expressão 3.17 faz referência ao critério de atendimento do consumo, abatido pela geração fotovoltaica, através da compra de energia de contratos e no MCP. A venda de energia também é considerada nesse caso.

Em ambas as variáveis de compra e venda no MCP há uma variável binária multiplicada. Isso, junto à restrição 3.19, serve ao propósito de assegurar que em um mesmo intervalo de tempo só haveria a possibilidade de compra ou venda no MCP, ou nenhum dos dois, mas nunca ambos simultaneamente.

$$1 \leq \sum_{c=1}^{\text{contratos}} beg(c) \leq \sum_{c=1}^{\text{contratos}} c \quad (3.18)$$

A restrição denotada pela expressão 3.18 representa a inflexibilidade dos contratos tratados nesse trabalho, representada pela multiplicação do valor da energia total do contrato por uma variável binária, em que a energia contratada pelo consumidor deve ser 100% a energia disponível pelo contrato ou nenhuma dela, caso opte por não comprar o contrato em questão. Como discutido anteriormente, o consumidor tem a opção de ficar 100% exposto ao MCP caso seja de seu interesse, mas devido às penalidades envolvidas isso não é factível no mundo real, por isso foi criada a restrição denotada pela expressão 3.19, que simboliza a necessidade de o consumidor escolher no mínimo um contrato.

$$bec(t,s) + bev(t,s) \leq 1 \quad \forall t,s \quad (3.19)$$

3.5 Julia

A fim de se implementar o modelo matemático foi utilizada a linguagem de programação Julia e o otimizador Gurobi. Essa linguagem se destaca por ser uma ferramenta de otimização linear de alto nível, cuja sintaxe se assemelha à linguagem humana, o que é necessário devido ao objetivo final desse trabalho que é de dar suporte a um consumidor (JULIA LANGUAGE, s.d.).

Ademais, a linguagem Julia é rápida, pode ser integrada a diferentes plataformas de uso, é reproduzível através de diferentes ambientes e é *open source*, significando que é acessível a todos.

Quanto ao otimizador Gurobi, seu uso foi escolhido por ser um otimizador com um uso comercial muito grande devido à sua eficiência e, no escopo desse trabalho, em que foi necessário multiplicar variáveis de decisão dentro do código, o Gurobi possibilitou esse artifício, que não poderia ser realizado em um otimizador comum.

4 Resultados numéricos

Para avaliar o desempenho do modelo, foram montados diversos casos numéricos alterando os parâmetros de preço dos contratos, potência máxima dos mesmos, a presença ou não de geração fotovoltaica e diferentes níveis de aversão ao risco. As alterações relativas ao preço e potência foram na ordem de 10%, já em relação ao parâmetro de aversão ao risco β foram necessários testes de tentativa e erro para avaliar qual seria o valor ideal desse parâmetro para causar mudanças significativas no resultado da otimização. Assim, foram realizados os testes que serão especificados a seguir:

Caso 1: Caso base;

Caso 1.1: Caso base com contratos 10% mais onerosos;

Caso 1.1.1: Caso base com contratos 10% mais onerosos e com 10% mais potência;

Caso 1.1.2: Caso base com contratos 10% mais onerosos e com 10% menos potência;

Caso 1.2: Caso base com contratos 10% menos onerosos;

Caso 1.2.1: Caso base com contratos 10% menos onerosos e com 10% mais potência;

Caso 1.2.2: Caso base com contratos 10% menos onerosos e com 10% menos potência

4.1 Testes sem a consideração da geração fotovoltaica

4.1.1 $\beta = 0$

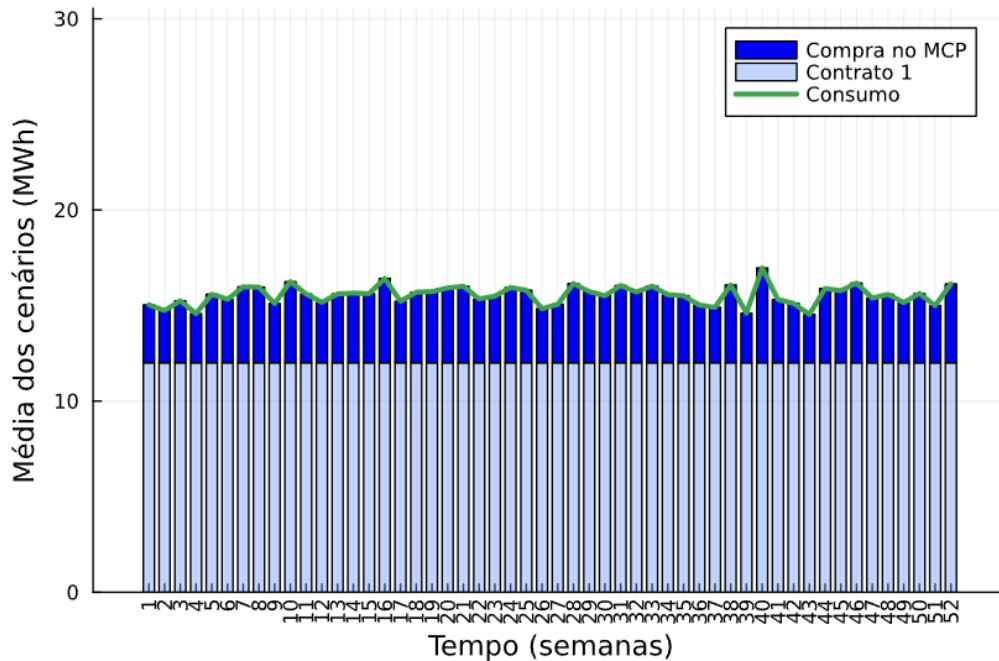


Figura 4.14 – Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1 com $\beta = 0$

Como mostra a figura 4.14, sem aversão ao risco o modelo considera mais apropriado a contratação da energia do Contrato 1, o mais barato, deixando o consumidor exposto ao MCP durante todas as semanas, porém garantindo um custo menor.

4.1.2 $\beta = 0$ e contratos 10% mais onerosos

Para alterações pontuais no preço dos contratos, sem outras alterações, o resultado obtido de escolha do melhor contrato é igual ao caso base, alterando apenas o valor total pago pelo consumidor. Os dados do valor total pago pelo consumidor, contendo esses casos de alterações pontuais no valor dos contratos, serão disponibilizados em uma tabela comparativa ao final do capítulo.

4.1.3 $\beta = 0$, contratos 10% mais onerosos e com potência máxima 10% maior

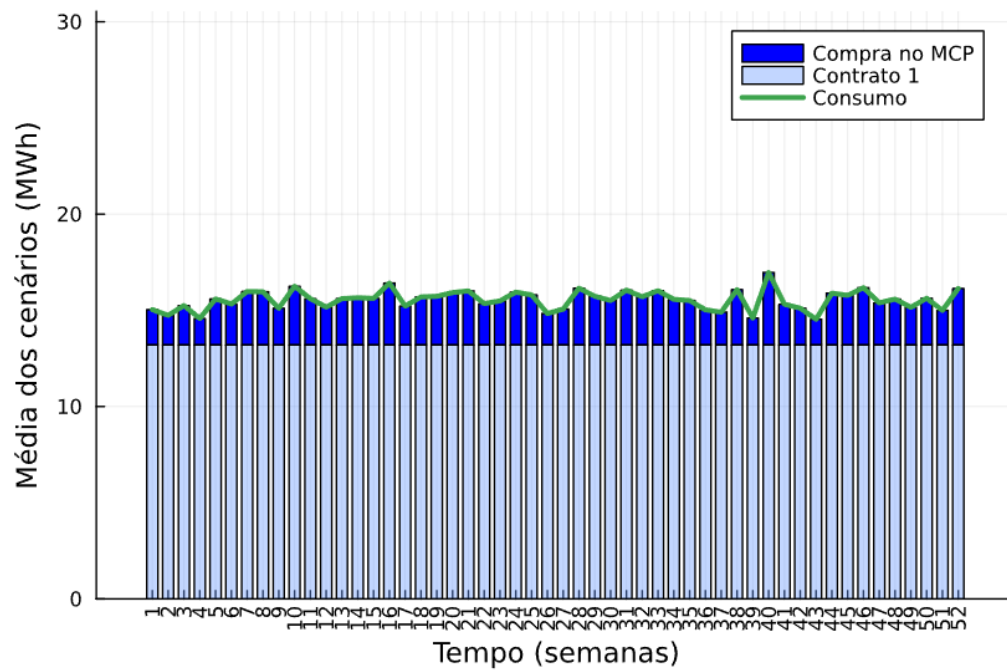


Figura 4.15 – Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.1.1 com $\beta = 0$

Como mostra a Figura 4.15, com o aumento da potência máxima fornecida pelos contratos, o modelo matemático indicou que a melhor escolha seria atender ao consumo inteiramente pelo contrato 1, apresentando uma menor compra total no MCP.

4.1.4 $\beta = 0$, contratos 10% mais onerosos e com potência máxima 10% menor

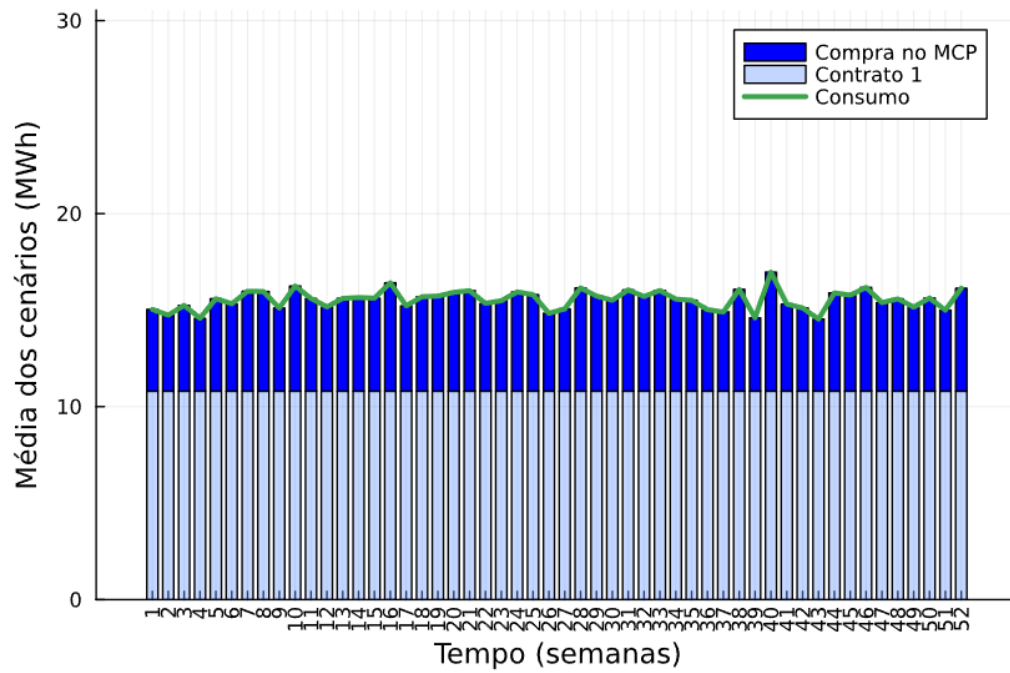


Figura 4.16 – Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.1.2 com $\beta = 0$

Como mostra a Figura 4.16, com a diminuição da potência máxima fornecida pelos contratos, o modelo matemático ainda indicou que a melhor escolha seria atender ao consumo inteiramente pelo contrato 1, mesmo apresentando uma exposição significativamente maior ao MCP. Isso indica a predominância do preço dos contratos em relação ao preço de liquidação das diferenças.

4.1.5 $\beta = 0$, contratos 10% menos onerosos e com potência máxima 10% maior

Como mostra a figura 4.17, com contratos fornecendo 10% a mais de carga não haveria sentido em o consumidor escolher contratos mais caros para suprir sua demanda, fazendo a escolha do contrato 1.

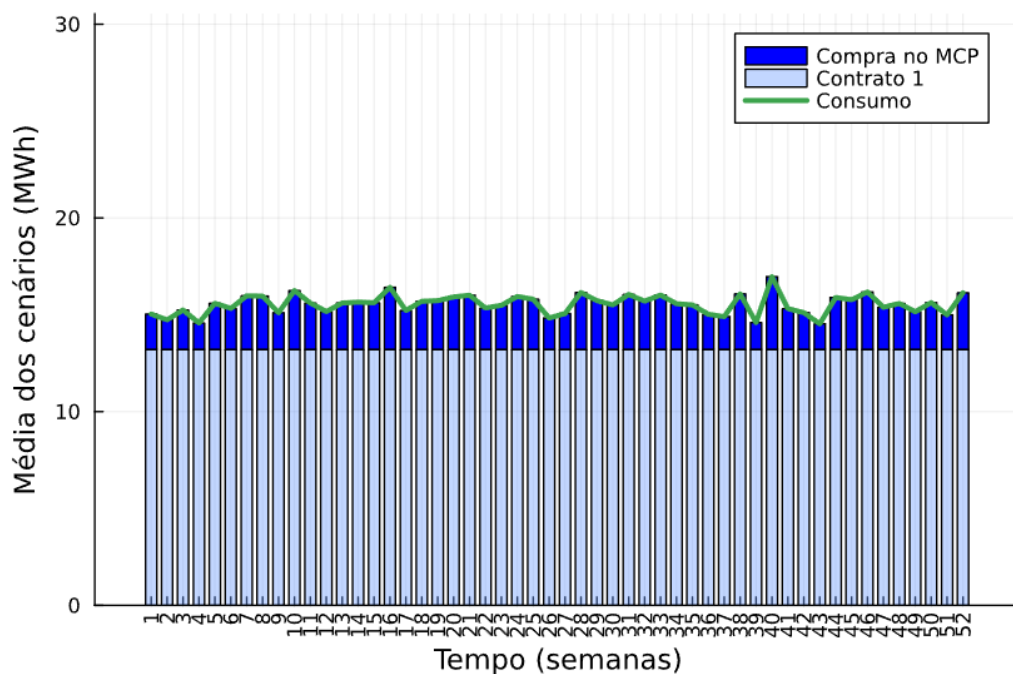


Figura 4.17 – Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.2.1 com $\beta = 0$

4.1.6 $\beta = 0$, contratos 10% menos onerosos e com potência máxima 10% menor

Mesmo com menos potência sendo fornecida pelos contratos, como mostra a figura 4.18 ainda é mais vantajoso economicamente para o consumidor ficar mais exposto ao MCP do que optar por um contrato mais caro.

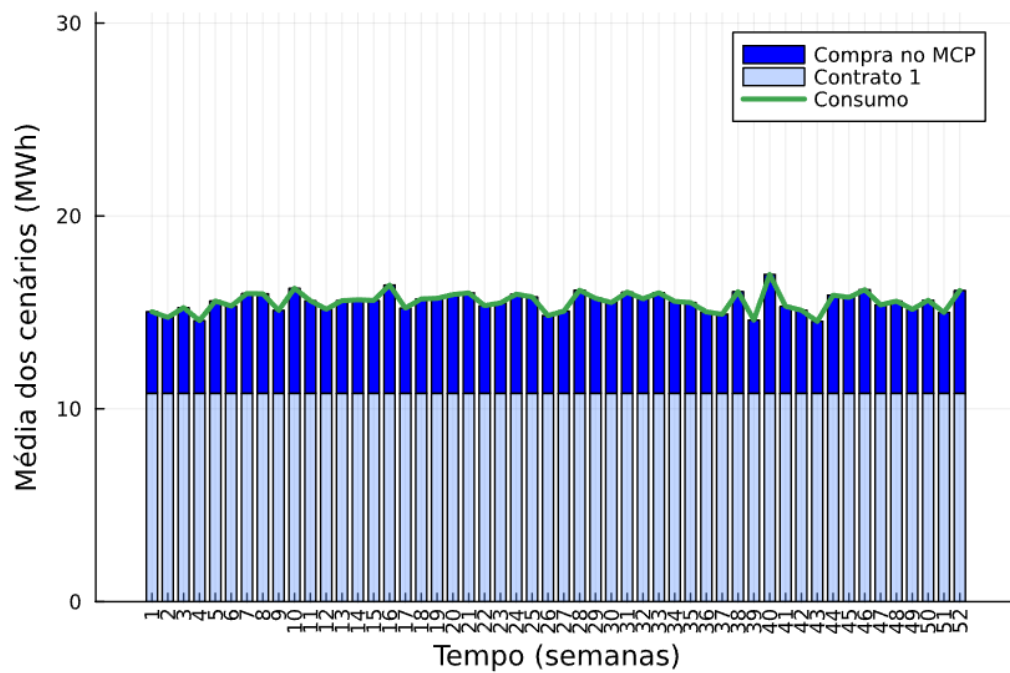


Figura 4.18 – Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.2.2 com $\beta = 0$

4.1.7 $\beta = 3,2$

Ao se introduzir um nível de aversão ao risco ao modelo, é indicado o contrato 3 ao consumidor, uma vez que, dessa maneira, esse contrato fornece uma potência máxima maior do que os outros dois, o consumidor ficará menos exposto ao MCP, inclusive vendendo excedentes de energia ao longo das 52 semanas. A figura 4.19 ilustra essa situação.

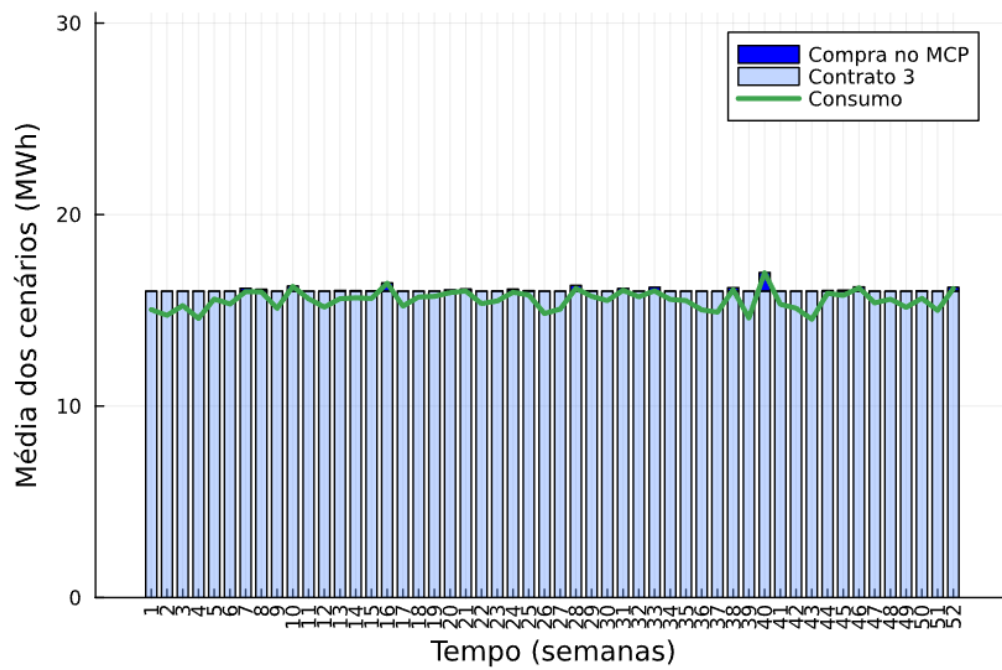


Figura 4.19 – Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.0 com $\beta = 3,2$

Ademais, a figura 4.20 mostra as quantidades de energia excedente vendidas pelo consumidor no MCP.

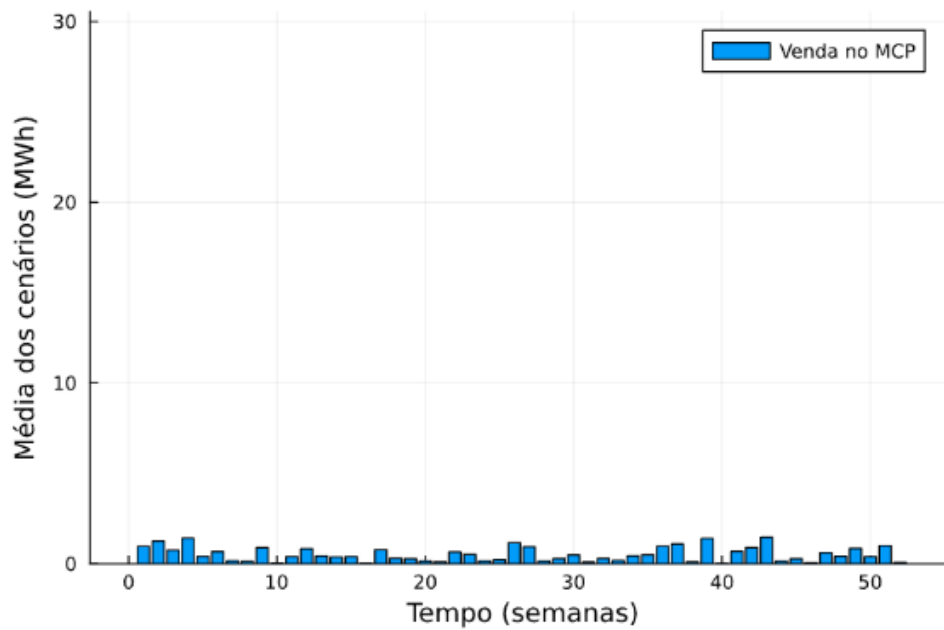


Figura 4.20 – Venda de energia no MCP - Caso 1.0 com $\beta = 3,2$

4.1.8 $\beta = 3,2$, contratos 10% mais onerosos

Com contratos 10% mais onerosos, o modelo optou pela contratação de energia proveniente do contrato 1, que, apesar de deixar o consumidor mais exposto ao MCP, lhe trará uma economia esperada maior, reafirmando a tese de que o preço dos contratos está dominando a escolha em relação ao valor do PLD, mostrando que, em relação ao preço dos contratos, o PLD está tão barato que vale mais a pena ficar exposto no MCP do que adquirir um contrato mais caro. A figura 4.21 ilustra essa situação.

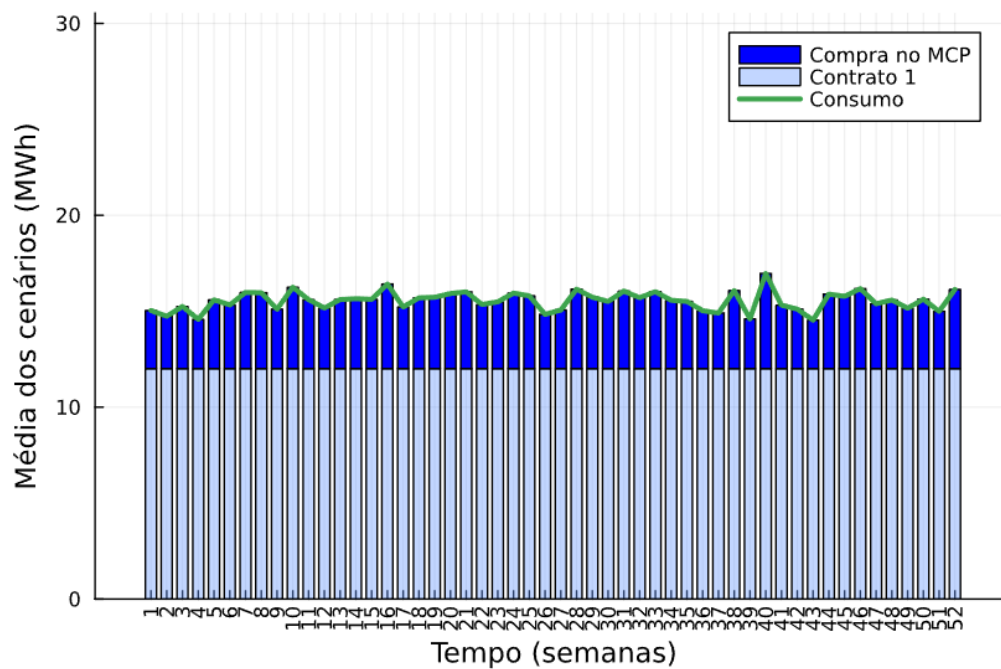


Figura 4.21 – Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.1 com $\beta = 3,2$

4.1.9 $\beta = 3,2$, contratos 10% mais onerosos e com potência máxima 10% menor

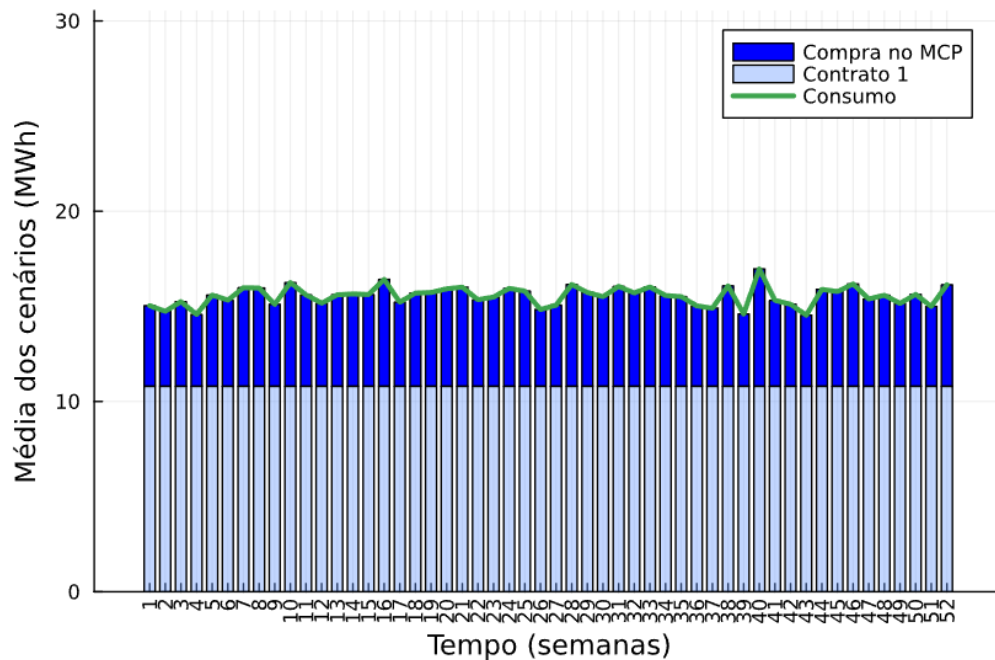


Figura 4.22 – Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.1.2 com $\beta = 3,2$

Como mostra a figura 4.22, mesmo com uma potência 10% menor o parâmetro de aversão ao risco em 3.2 não foi o suficiente para que o modelo indicasse um contrato cuja potência máxima forneceria ao consumidor uma menor exposição ao MCP.

4.1.10 $\beta = 3.5$, contratos 10% mais onerosos e com potência máxima 10% menor

Tendo como base o exemplo anterior, ao se alterar o parâmetro de aversão ao risco para 3.5 o contrato 3 foi o escolhido para suprir o consumidor, uma vez que, dessa maneira, o consumidor fica menos exposto ao MCP. Isso mostra que, mesmo com a dominância do preço dos contratos em relação ao Preço de Liquidação das Diferenças, um certo nível de aversão ao risco já é suficiente para deixar o consumidor mais avesso ao risco e preferir contratos que cubram todo o seu consumo, reforçando a eficácia da ferramenta. A figura 4.23 ilustra essa situação.

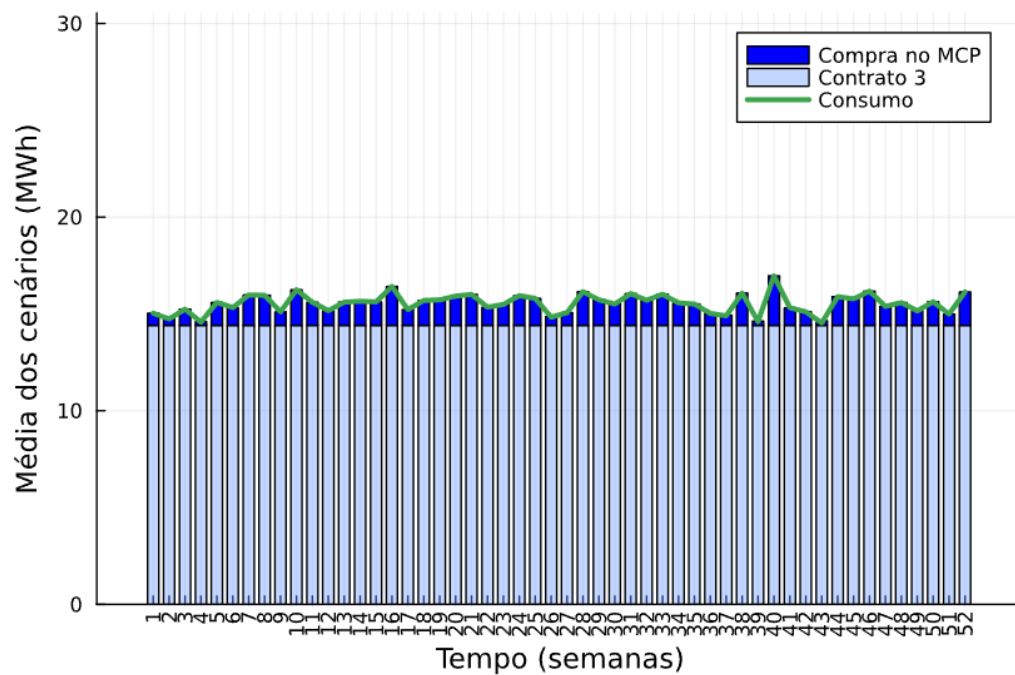


Figura 4.23 – Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.1.2 com $\beta = 3.5$

4.2 Testes com a consideração da geração fotovoltaica

4.2.1 $\beta = 0$

Ao se considerar a geração de energia fotovoltaica no modelo e consequente abatimento da carga total do consumidor, é de se esperar valores menores de exposição ao MCP para o consumidor. A figura 4.24 ilustra o impacto da consideração da energia fotovoltaica, gerada a partir do sistema fotovoltaico *zero-grid*, no perfil de consumo.

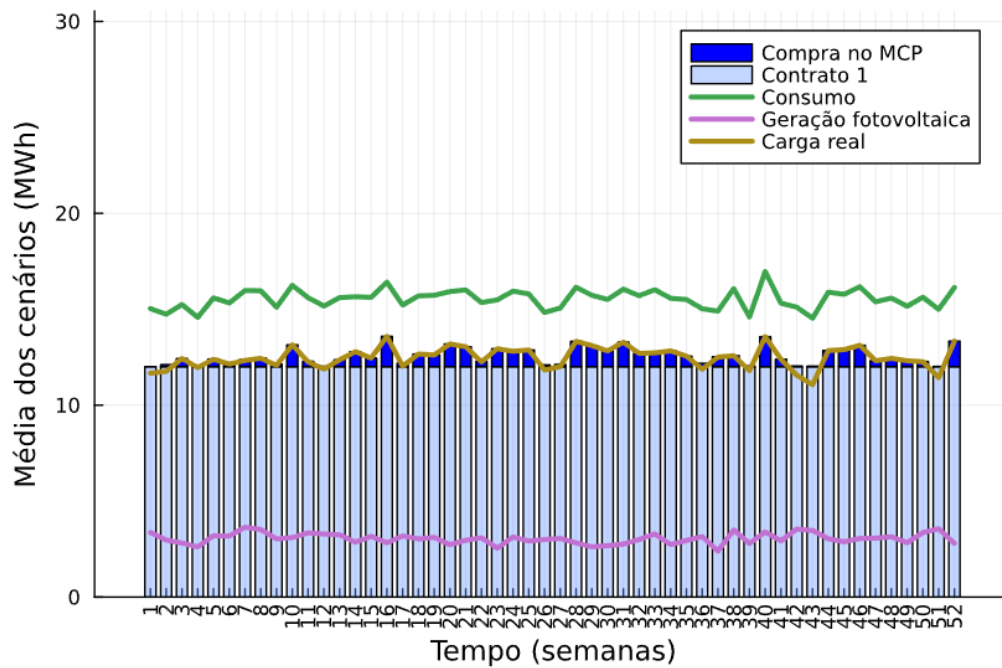


Figura 4.24 – Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.0 com $\beta = 0$

4.2.2 $\beta = 0$, contratos 10% mais onerosos e com potência máxima 10% maior

Ao se ter um aumento da potência máxima fornecida pelas contratos, a exposição do consumidor ao MCP nesse cenário diminui, como apresentando na figura 4.25

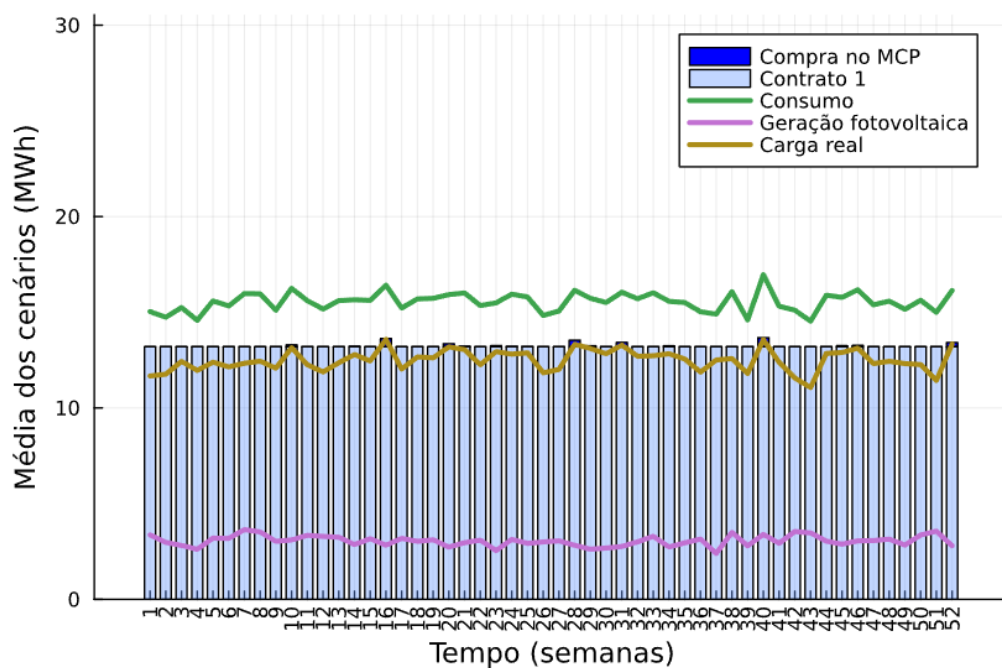


Figura 4.25 – Consumo, compra de energia de contratos e no MCP 1.1.1 com $\beta = 0$

Assim, há pouca compra de energia no MCP por parte do consumidor nesse cenário,

apresentando maiores quantidades de venda de energia nesse mesmo intervalo, como mostra a figura 4.26

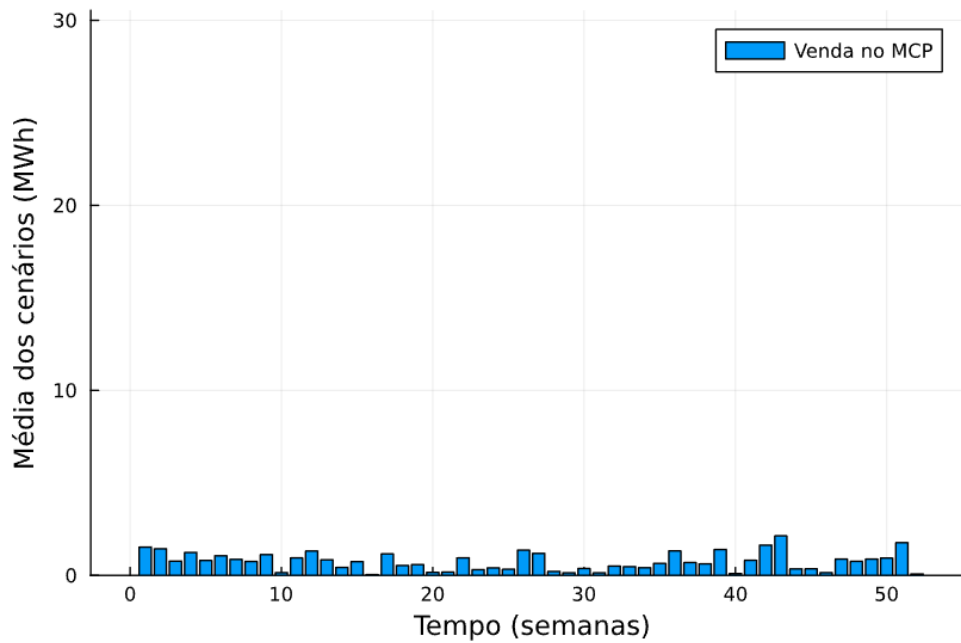


Figura 4.26 – Venda de energia no MCP

4.2.3 $\beta = 0$, contratos 10% menos onerosos e com potência máxima 10% menor

Mesmo com a potência dos contratos reduzida em 10%, o modelo ainda optou pela energia oferecida pelo contrato 1, como mostra a figura 4.27

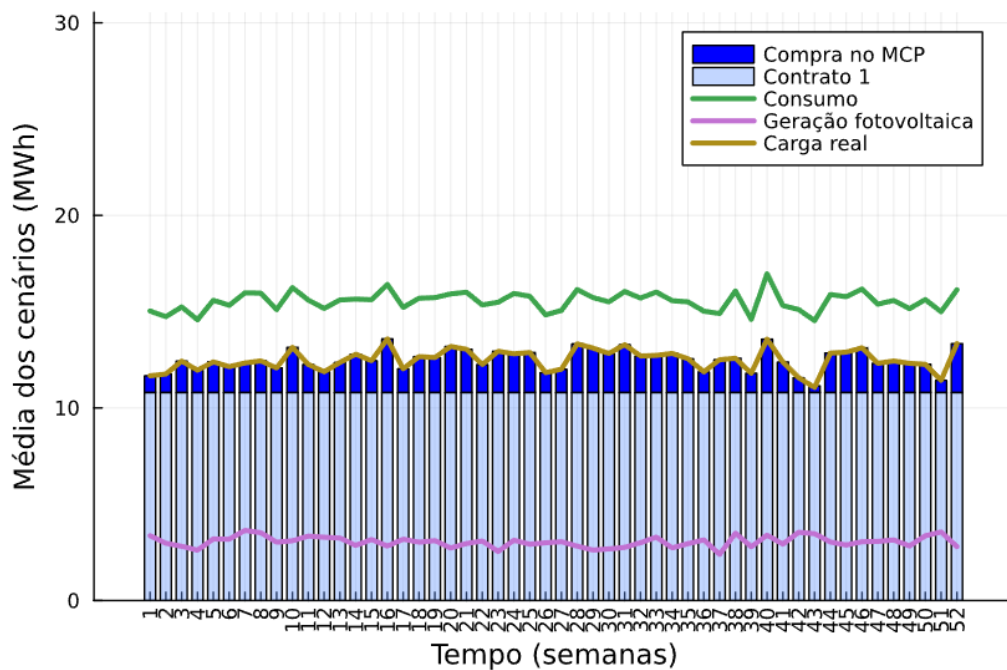


Figura 4.27 – Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.2.2 com $\beta = 0$

4.2.4 $\beta = 3,1$

Um nível de aversão ao risco com $\beta = 3.1$ foi o suficiente para assegurar menor exposição do consumidor, como ilustra a figura 4.28, em que o recomendado foi contratar o contrato 3 para fornecer mais energia ao consumidor. Nesse cenário, como ilustra a figura 4.29, houve uma venda significativa de energia no MCP.

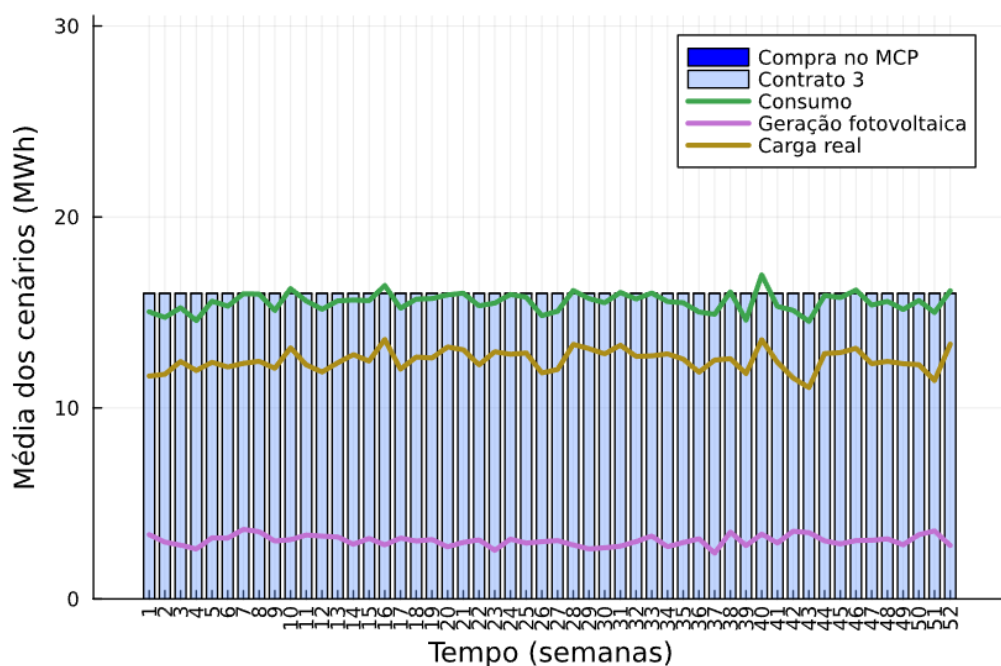


Figura 4.28 – Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - 1.0 com $\beta = 3.0$

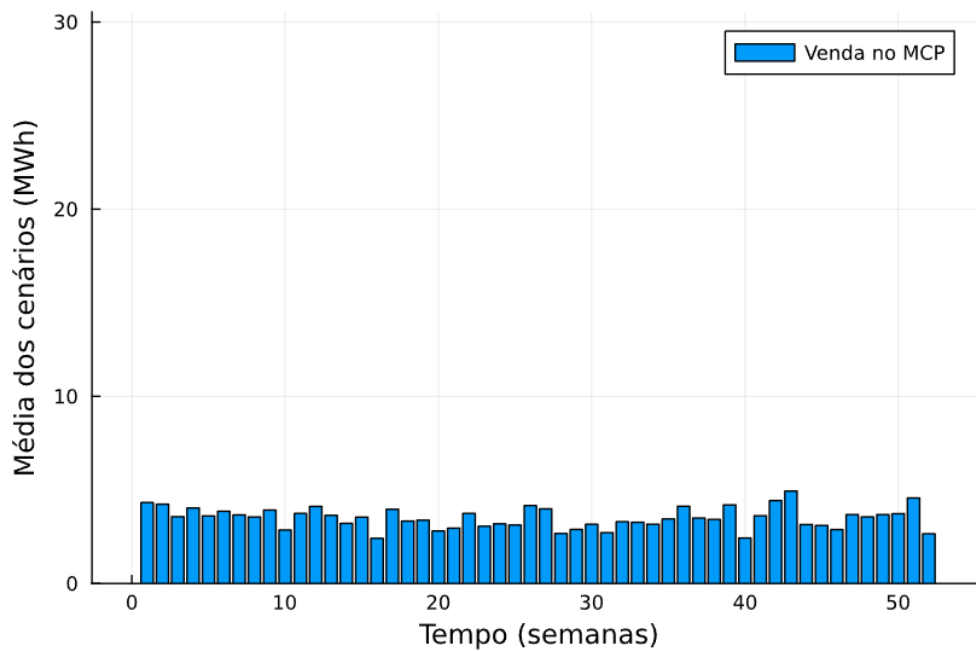


Figura 4.29 – Venda de energia no MCP

4.2.5 $\beta = 3.1$, contratos 10% mais onerosos e com potência máxima 10% maior

Com contratos 10% mais onerosos e potência máxima fornecida pelos menos 10% menor, o recomendado foi contratar o contrato 1 haja vista sua maior economia esperada, como ilustra a figura 4.30.

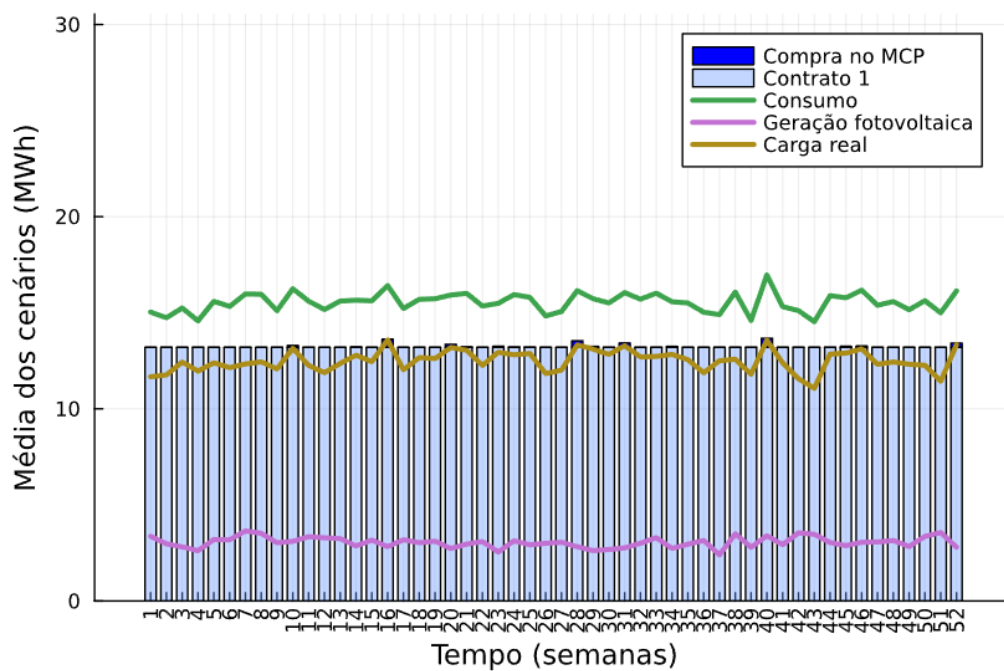


Figura 4.30 – Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.1.1 $\beta = 3.1$

A figura 4.31 mostra os montantes de venda esperada de energia no MCP para esse cenário.

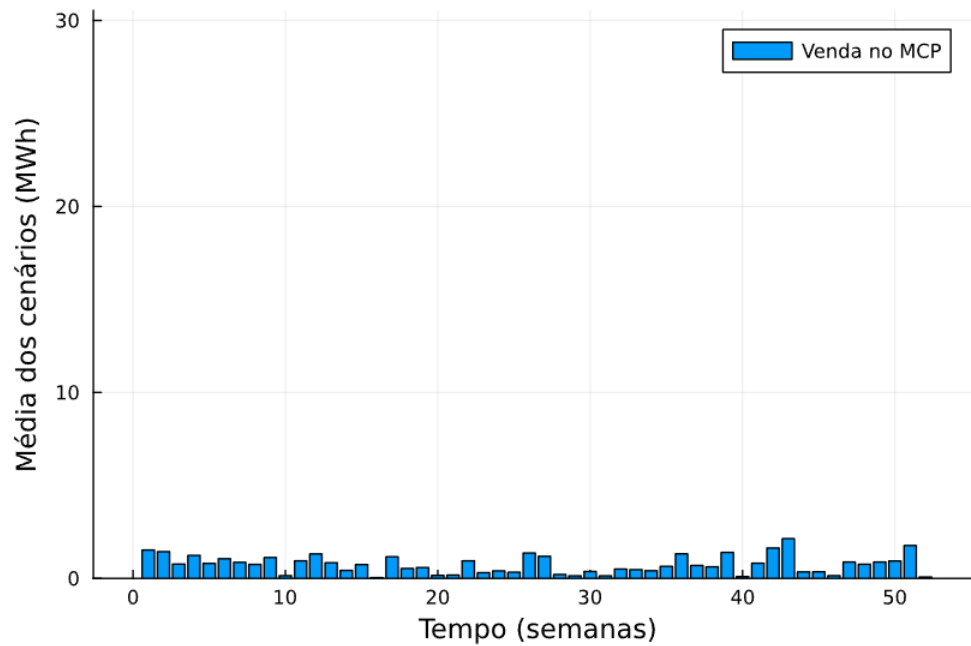


Figura 4.31 – Venda de energia no MCP

4.2.6 $\beta = 3.1$, contratos 10% mais onerosos e com potência máxima 10% menor

Com contratos 10% mais onerosos e com potência máxima 10% menor, como ilustra a figura 4.32, o modelo optou pela contratação de energia pelo contrato 1, causando uma exposição maior do consumidor ao MCP, porém, uma economia esperada maior.

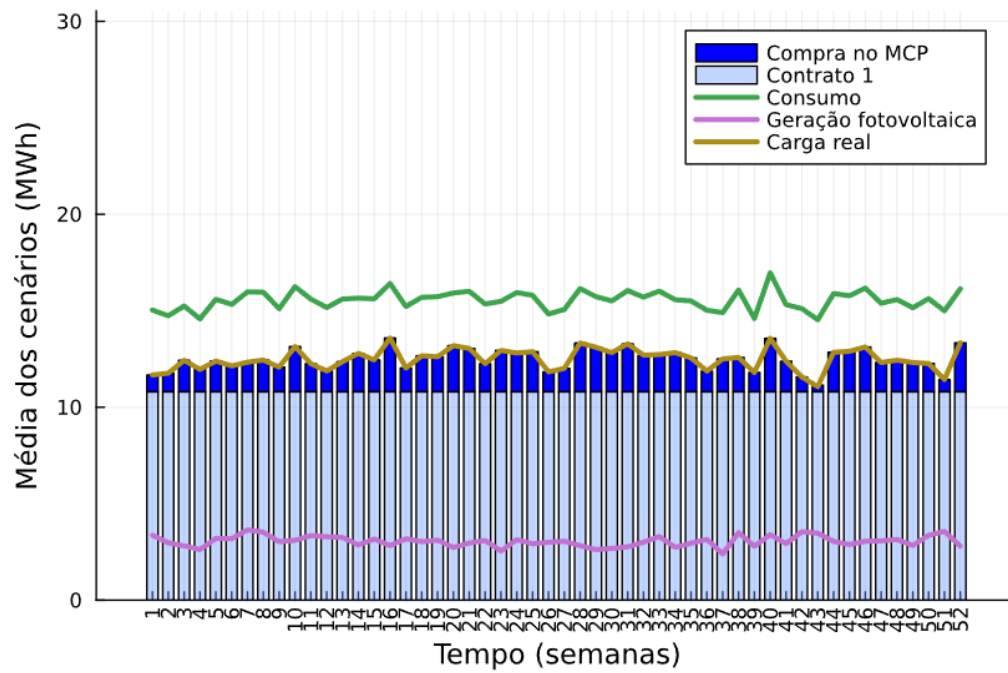


Figura 4.32 – Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.1.2 com $\beta = 3.1$

4.2.7 $\beta = 3.5$, contratos 10% mais onerosos e com potência máxima 10% menor

Como ilustra a figura 4.33, ao aumentar o nível de aversão ao risco para 3.5 o modelo opta pela compra de energia proveniente do contrato 3, conferindo nenhuma exposição no MCP por parte do consumidor.

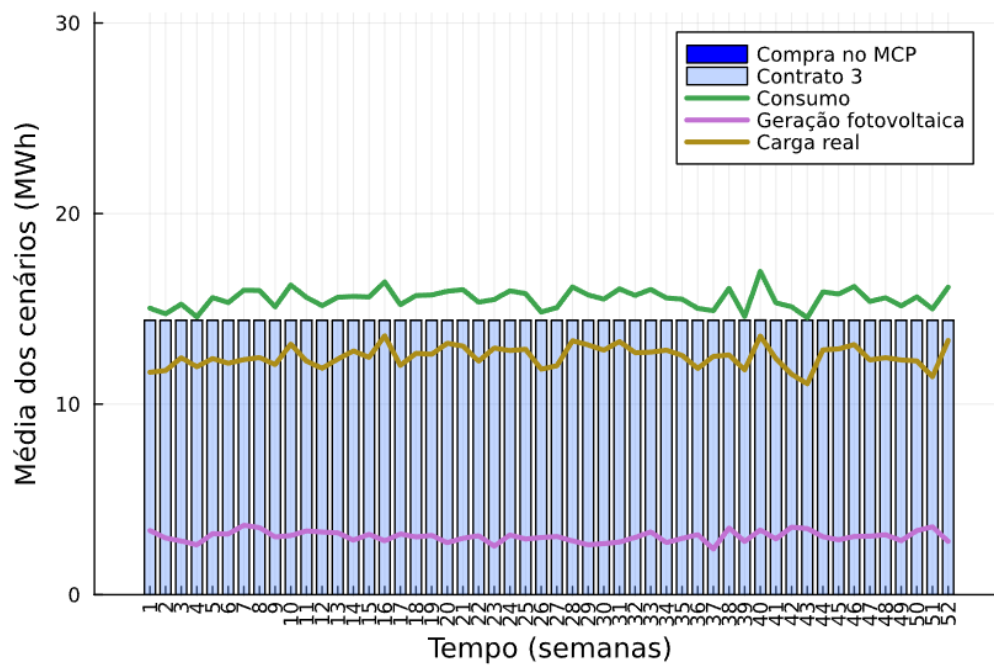


Figura 4.33 – Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.1.2 com $\beta = 3.5$

4.2.8 $\beta = 3.1$, contratos 10% menos onerosos e com potência máxima 10% maior

Como mostra a figura 4.34, com uma potência dos contratos 10% e um nível de aversão ao risco de 3.1 o mais recomendado é a escolha do contrato 3 para fornecimento de energia devido à economia esperada maior.

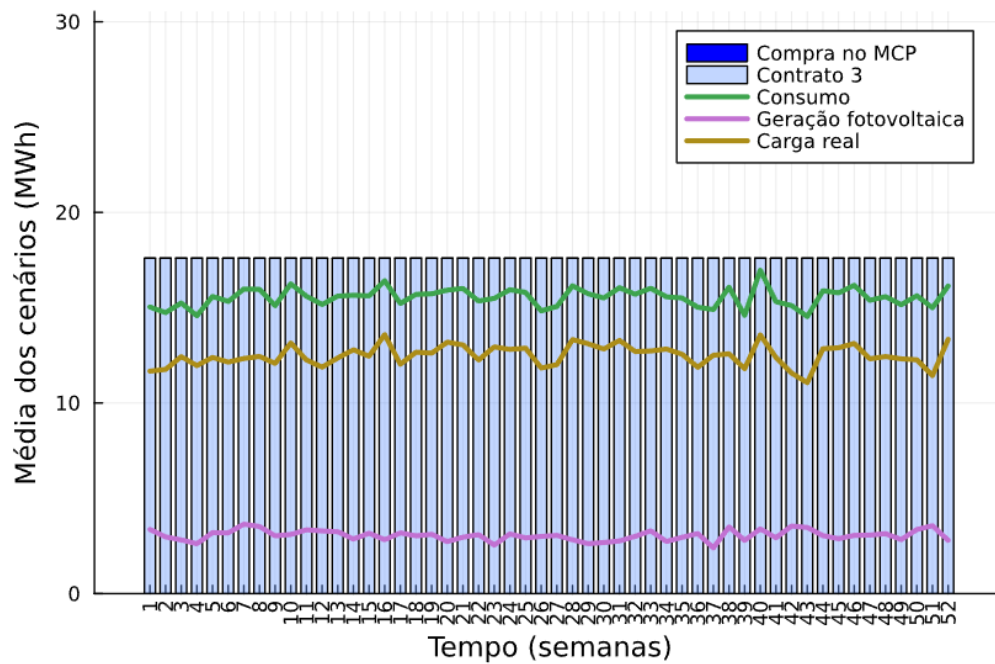


Figura 4.34 – Consumo, compra de energia de contratos e no MCP - Caso 1.2.1 com $\beta = 3.1$

Nesse cenário ainda há montantes de energia vendida no MCP, como mostra a figura 4.35.

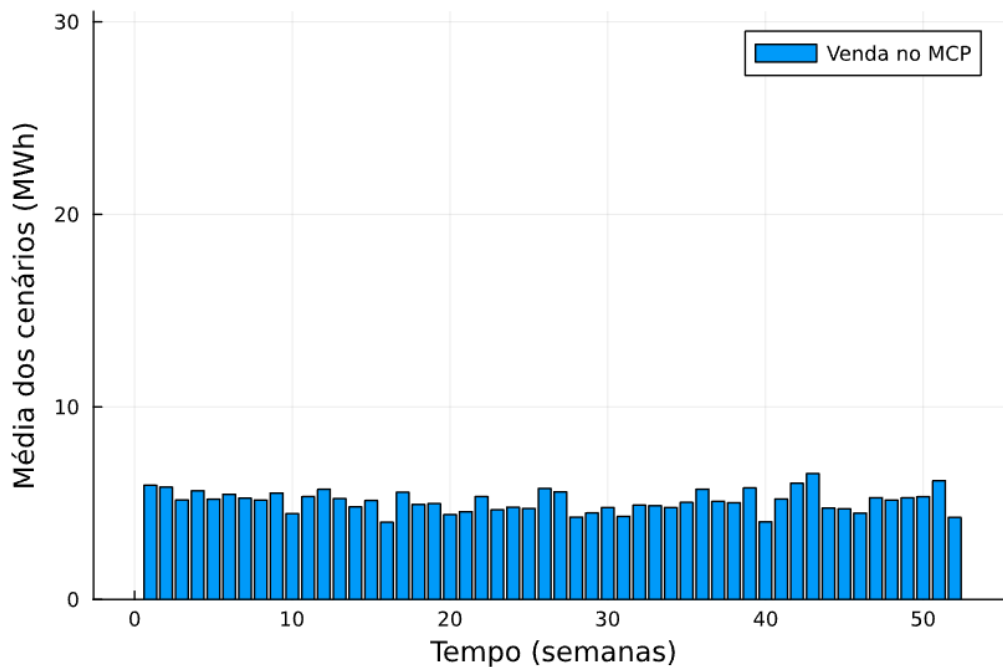


Figura 4.35 – Venda de energia no MCP - Caso 1.2.1 com $\beta = 3.1$

As tabelas 4.1 e 4.2 mostram comparativamente o custo esperado de compra de energia pelo consumidor nos diferentes casos de teste para diferentes níveis de aversão ao risco e considerando, ou não, geração solar própria.

Resultados da análise sem a consideração da energia fotovoltaica						
Caso	Aversão ao risco (β)	Compra no MCP (R\$)	Venda no MCP (R\$)	Custo dos contratos (R\$)	Custo total (R\$)	Cvar
1.0	0	R\$ 10.013,37	R\$ -	R\$ 71.884,79	R\$ 81.898,16	R\$ -
1.0	3,2	R\$ 198,51	R\$ 1.504,80	R\$ 93.184,80	R\$ 91.878,51	R\$ 94.187,71
1.1	0	R\$ 10.013,37	R\$ -	R\$ 79.073,28	R\$ 89.086,65	R\$ -
1.1	3,2	R\$ 10.013,37	R\$ -	R\$ 79.073,28	R\$ 89.086,65	R\$ 68.555,61
1.1.1	0	R\$ 6.617,47	R\$ -	R\$ 86.980,61	R\$ 93.598,08	R\$ -
1.1.1	3,2	R\$ 6.617,48	R\$ -	R\$ 86.980,61	R\$ 93.598,09	R\$ 80.019,52
1.1.2	0	R\$ 13.409,27	R\$ -	R\$ 71.165,95	R\$ 84.575,22	R\$ -
1.1.2	3,2	R\$ 13.409,00	R\$ -	R\$ 71.165,95	R\$ 84.574,95	R\$ 57.091,70
1.1.2	3,5	R\$ 3.237,53	R\$ 15,95	R\$ 92.252,16	R\$ 95.473,74	R\$ 88.800,61
1.2	0	R\$ 10.013,37	R\$ -	R\$ 64.696,32	R\$ 74.709,69	R\$ -
1.2.1	0	R\$ 6.617,48	R\$ -	R\$ 71.165,95	R\$ 77.783,43	R\$ -
1.2.2	0	R\$ 13.409,28	R\$ -	R\$ 58.226,69	R\$ 71.635,97	R\$ -

Tabela 4.1 – Tabela comparativa sem a consideração de geração de energia própria, em R\$.

Resultados da análise com a consideração da energia fotovoltaica						
Caso	Aversão ao risco (β)	Compra no MCP (R\$)	Venda no MCP (R\$)	Custo dos contratos (R\$)	Custo total (R\$)	Cvar
1.0	0	R\$ 1.608,11	R\$ 245,57	R\$ 71.884,79	R\$ 73.247,33	R\$ -
1.0	3	R\$ 1.608,11	R\$ 245,57	R\$ 71.884,79	R\$ 73.247,33	R\$ 70.235,12
1.1	0	R\$ 1.608,11	R\$ 245,57	R\$ 79.073,28	R\$ 80.435,82	
1.1	3,1	R\$ 1.608,11	R\$ 245,57	R\$ 79.073,28	R\$ 80.435,82	R\$ 77.423,60
1.1.1	0	R\$ 115,25	R\$ 2.148,61	R\$ 86.980,60	R\$ 84.947,24	
1.1.1	3,1	R\$ 115,25	R\$ 2.148,61	R\$ 86.980,60	R\$ 84.947,24	R\$ 88.672,12
1.1.2	0	R\$ 4.764,16	R\$ 5,72	R\$ 71.165,95	R\$ 75.924,39	
1.1.2	3,1	R\$ 4.764,16	R\$ 5,72	R\$ 71.165,95	R\$ 75.924,39	R\$ 66.094,63
1.1.2	3,5	R\$ 1,14	R\$ 5.430,00	R\$ 92.252,16	R\$ 86.823,30	R\$ 97.284,00
1.2	0	R\$ 1.608,11	R\$ 245,57	R\$ 64.696,32	R\$ 66.058,86	
1.2	3,1	R\$ -	R\$ 9.957,12	R\$ 83.865,59	R\$ 73.908,47	R\$ 93.353,23
1.2.1	0	R\$ 115,25	R\$ 2.148,31	R\$ 71.165,95	R\$ 69.132,89	
1.2.1	3,1	R\$ -	R\$ 14.484,98	R\$ 92.252,16	R\$ 77.767,18	R\$ 106.144,68
1.2.2	0	R\$ 4.764,17	R\$ 5,72	R\$ 58.226,68	R\$ 62.985,13	
1.2.2	3,1	R\$ 1,14	R\$ 5.430,39	R\$ 75.479,00	R\$ 70.049,75	R\$ 80.511,74

Tabela 4.2 – Tabela comparativa com a consideração de geração de energia própria, em R\$.

Como mostrado nas tabelas, com níveis de aversão ao risco maiores é esperado que o custo total esperado seja maior, porém com uma compra no MCP bem pequena em relação a casos de aversão ao risco menor. Isso mostra que o modelo indica corretamente a melhor escolha ao consumidor levando em consideração diferentes níveis de aversão ao risco.

4.3 Análise do CVaR e Custo esperado para diferentes cenários

Comparando o CVaR e o custo esperado para diferentes níveis de aversão ao risco sem a consideração de energia solar própria, temos a figura 4.36

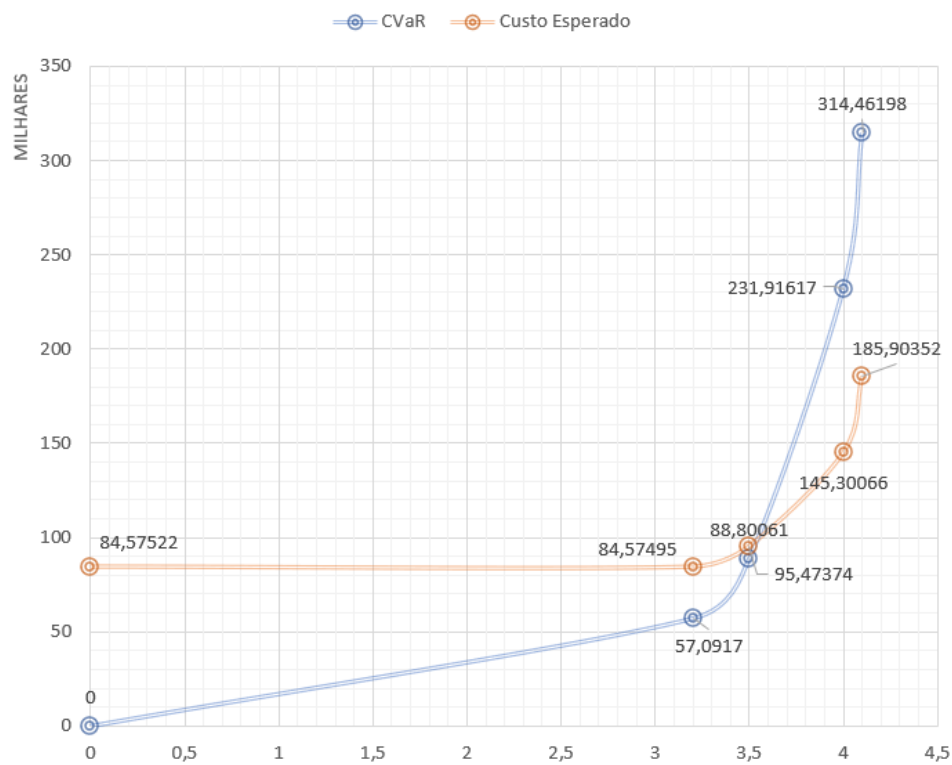


Figura 4.36 – Análise do CVaR e custo esperado para diferentes valores de β sem a consideração de geração solar

Agora, comparando o CVaR e o custo esperado para diferentes níveis de aversão ao risco sem a consideração de energia solar própria, temos a figura 4.37

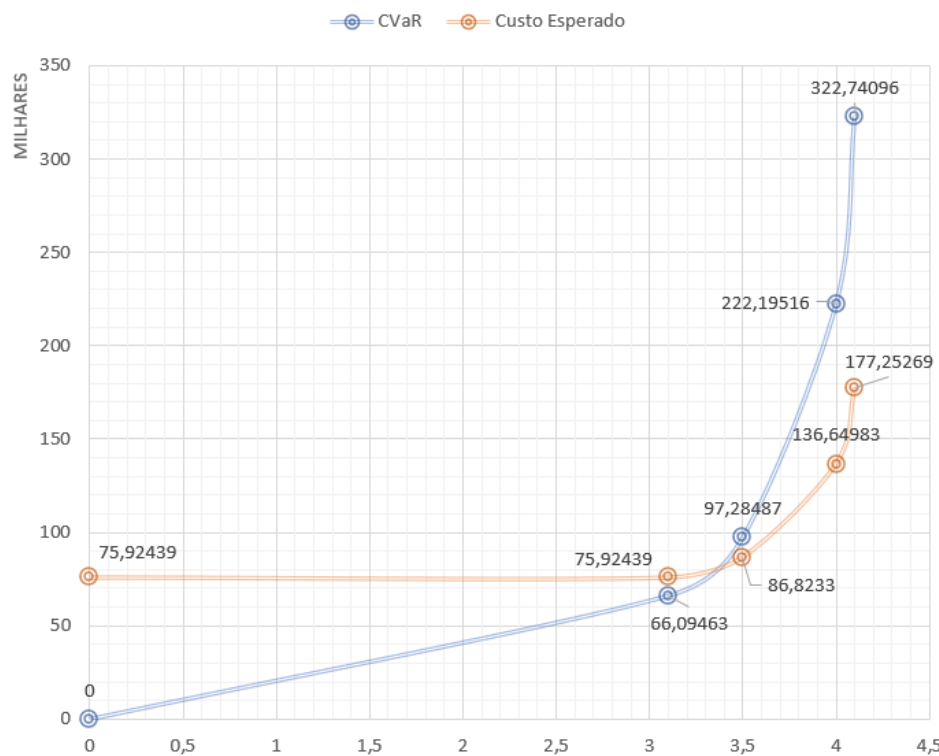


Figura 4.37 – Análise do CVaR e custo esperado para diferentes valores de β sem a consideração de geração solar

Ambas figuras mostram um crescimento lento do CVaR para pequenos valores de β , com um crescimento rápido para grandes valores do mesmo índice. As figuras mostram também que os consumidores com energia solar instalada necessitam de um β menor para ficarem mais avesso ao risco se comparado com os consumidores sem energia solar. Além disso, o custo esperado para os consumidores com energia solar é mais baixo para todos os valores de β . Isso se deve ao fato de que, com a energia solar abatendo seu consumo global, os mesmos fiquem menos expostos ao MCP e comprem menos energia nesse ambiente, inclusive vendendo energia em alguns cenários.

5 Conclusão e proposta de trabalhos futuros

5.1 Conclusão

No presente estudo, observou-se a aplicação de uma ferramenta computacional como suporte à tomada de decisão do consumidor em diversos cenários distintos. Através das análises conduzidas, constatou-se a eficácia dessa ferramenta na resolução dos desafios abordados.

De maneira geral, sem a consideração de geração solar própria, o modelo optou por comprar o mínimo em contratos e comprar o excedente no MCP. Dado as premissas usadas para a elaboração do trabalho, e uma vez que ainda não se têm parâmetros de preços para contratos para o Grupo B, o que foi mostrado é que o modelo considerou a compra no MCP mais vantajosa que a compra em contratos bilaterais. Com níveis de aversão ao risco maiores, o modelo optou por contratos que atendam uma parcela maior de sua carga, vendendo o excedente de energia no MCP. Porém, mesmo com níveis de aversão ao risco maiores, nos testes em que o valor dos contratos apresentaram um aumento o modelo optou por contratos mais baratos, indicando que o que ditou a escolha do modelo foi o preço dos contratos em detrimento ao valor do PLD.

Já com a consideração de geração solar própria, o cenário ficou ainda mais favorável à obtenção de energia de contratos mais baratos e que oferecem menor demanda contratada, uma vez que a geração solar abate a carga total a ser atendida pelos contratos bilaterais e pela compra no MCP, além de reduzir o custo esperado como um todo, como se pôde ver nas tabelas ao final do capítulo de resultados.

Entretanto, o foco desse trabalho foi o modelo computacional elaborado no mesmo. Com a possibilidade de mudança de parâmetros de preços de contratos bilaterais e consideração de diferentes cenários de consumo, preço e geração solar, é possível subsidiar a tomada de decisão de vários consumidores de maneira simples e eficaz. Além disso, a forma com que o modelo está projetado confere maleabilidade de suas características para atender situações mais específicas, como a consideração de uma única residência com geração solar *zero-grid* cuja geração ultrapasse o consumo em certos períodos do dia, por exemplo.

5.2 Propostas de trabalhos futuros

Mesmo com parâmetros sugeridos para o contrato padrão do varejista, o trabalho pode ser modificado para incluir diferentes tipos de contrato para auxiliar a tomada de decisão de

diferentes consumidores. Além disso, também se pode modificá-lo para considerar também os custos envolvidos com a implementação de energia solar e com os custos de penalidades de se ficar exposto ao MCP por muito tempo.

Outro ponto de atenção é que a granularidade considerada para esse trabalho foi de caráter semanal. No dia a dia, a contabilização realizada no MCP é feita de forma horária, e a medição de consumo e de geração solar é realizada a cada 5 minutos, segundo os procedimentos de rede do ONS ([ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, s/d](#)). Sendo assim, o trabalho pode ser modificado para atender a esses requisitos e ser capaz de abarcar consumidores bem menores e cuja geração própria possa exceder seu consumo em determinadas horas do dia.

Sendo assim, seguem sugestões de trabalhos futuros:

- Implementar contratos com modulação sazonal;
- Reduzir da análise para somente um apartamento para analisar o impacto de não se poder injetar energia na rede;
- Considerar os custos de penalidade ao se ficar exposto no MCP;
- Considerar os custos de implementação de um sistema fotovoltaico;
- Implementar granularidade horária;
- Estender o uso do programa ao comercializador;
- Usar dados sazonais de geração solar.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Análise das Contribuições da CP 28/23: Aprimoramento da Comercialização Varejista**. 2023. Acesso em: 23 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://abraceel.com.br/biblioteca/2023/12/nota-tecnica-aneel-analise-das-contribuicoes-da-cp-28-23-aprimoramento-da-comercializacao-varejista/>>. Citado na p. 33.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica**. Acesso em: 10 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/acesso-a-informacao/institucional/a-aneel>>. Citado na p. 18.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **AREN 2023/1056: Despacho de Retificação 2 e 3**. Acesso em: 12 de dezembro de 2023. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren20231056_2_3.pdf>. Citado na p. 25.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Mercado**. Acesso em: [data de acesso]. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/mercado>>. Citado na p. 20.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **REN: Título do Documento**. 2021. Acesso em: 23 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>>. Citado nas pp. 20, 26.
- AQUECEDORES, E. **Energia Solar Fotovoltaica Off-Grid: Entenda Como Funciona**. Acesso em: 12 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.ecoaquecedores.com.br/energia-solar-fotovoltaica-off-grid/>>. Citado na p. 28.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS COMERCIALIZADORES DE ENERGIA. **Cartilha do Mercado Livre de Energia**. Acesso em: 23 de dezembro de 2023. 2023. Disponível em: <<https://abraceel.com.br/wp-content/uploads/post/2023/10/Cartilha-do-Mercado-Livre-de-Energia.pdf>>. Citado nas pp. 21, 25.
- BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Acesso em: 12 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>>. Citado nas pp. 27, 30.
- CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). **Painel de Preços - CCEE**. Acesso em: 10 de dez. de 2023. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/web/guest/precos/painel-precos>>. Citado nas pp. 25, 34.
- CCEE. **Projeto meta 2**. Acesso em: 23 de dezembro de 2023. 2023. Disponível em: <<https://www.meta2formacaodepreco.com.br/contexto>>. Citado na p. 23.

- CENTRO DE CIÊNCIA DO SISTEMA TERRESTRE (CCST) / INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil - 2017**. Acesso em: 29 de novembro de 2023. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html#mod>. Citado nas pp. 29, 35.
- COMERCIALIZADORES DE ENERGIA (ABRACEEL), A. B. dos. **Estudo Inflação ACL/ACR - 2023**. Acesso em: 12 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://abraceel.com.br/wp-content/uploads/2023/03/Estudo-inflacao-ACL-ACR-2023.pdf>>. Citado na p. 22.
- DESCONHECIDO(S), A. **Potência ou Eficiência: O que é mais importante no Módulo FV?** Acesso em: Data de Acesso. Ano Desconhecido. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/potencia-ou-eficiencia-o-que-e-mais-importante-no-modulo-fv/>>. Citado na p. 35.
- ENERGIA, M. L. de. **Consumidores Livres e Especiais - Contratos**. Acesso em: 12 de dezembro de 2023. Disponível em: <https://www.mercadolivredeenergia.com.br/consumidores-livres-e-especiais/contratos/?utm_source=google&utm_campaign=pesquisa-mle&utm_medium=cpc&utm_term=mercado-livre&utm_content=mercado-livre>. Citado na p. 26.
- ENGIE. **Mercado Livre de Energia em 2024**. Acesso em: 12 de dezembro de 2023. s/d. Disponível em: <<https://blog-solucoes.engie.com.br/solucoes-integradas/mercado-livre-de-energia-2024/>>. Citado na p. 15.
- EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. Acesso em: 10 dez. 2023. Disponível em: <<https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario/>>. Citado nas pp. 19, 33.
- FERNANDEZ, V. d. S. S. **Análise do Impacto Financeiro da transição dos modelos de formação de preço DECOMP para o DESSEM nos contratos do ACL: Um estudo de caso com dois perfis de consumo – Industrial e Comercial**. Abril 2019. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Citado na p. 27.
- GRUGREEN ENERGIA. **Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) – Energia (Dados CCEE)**. Acesso em: 12 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://grugreen.eng.br/preco-de-liquidacao-das-diferencas-pld-energia-dados-ccee/>>. Citado na p. 25.
- JOINT RESEARCH CENTRE, E. C. **Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)**. Acesso em: 12 de dezembro de 2023. Disponível em: <https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en>. Citado na p. 30.
- JULIA LANGUAGE. **Julia**. Acesso em: 12 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://julialang.org/>>. Citado na p. 42.

- MARZANO, L. G.; MELO, A. C. An Approach for Portfolio Optimization of Energy Contracts in the Brazilian Electric Sector. In: IEEE Bologna Power Tech Conference. Bologna, Italy, jun. 2003. Citado na p. 22.
- MEGAWHAT. **Autoprodutor de Energia**. Acesso em: 10 de dezembro de 2023. S/D(a). Disponível em: <<https://megawhat.energy/verbetes/69702/autoprodutor-de-energia>>. Citado na p. 19.
- MEGAWHAT. **Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE)**. Acesso em: 10 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://megawhat.energy/verbetes/269/camara-de-comercializacao-de-energia-eletrica-ccee>>. Citado na p. 19.
- MEGAWHAT. **Comercializador Varejista**. Acesso em: 10 de dezembro de 2023. S/D(b). Disponível em: <<https://www.megawhat.energy/verbetes/277/comercializador-varejista>>. Citado na p. 20.
- MEGAWHAT. **Comercializadora de Energia**. Acesso em: 10 de dezembro de 2023. S/D(c). Disponível em: <<https://megawhat.energy/verbetes/278/comercializadora-de-energia>>. Citado na p. 20.
- MEGAWHAT. **Concessionária de Serviço Público**. Acesso em: 10 de dezembro de 2023. S/D(d). Disponível em: <<https://megawhat.energy/verbetes/29537/concessionaria-de-servico-publico>>. Citado na p. 19.
- MEGAWHAT. **Consumidor Livre**. Acesso em: 10 de dezembro de 2023. S/D(e). Disponível em: <<https://megawhat.energy/verbetes/292/consumidor-livre>>. Citado na p. 20.
- MEGAWHAT. **Distribuidora de Energia Elétrica**. Acesso em: 10 de dezembro de 2023. S/D(f). Disponível em: <<https://megawhat.energy/verbetes/306/distribuidora-de-energia-eletrica>>. Citado na p. 20.
- MEGAWHAT. **Produtor Independente de Energia**. Acesso em: 10 de dezembro de 2023. S/D(g). Disponível em: <<https://megawhat.energy/verbetes/381/produtor-independente-de-energia>>. Citado na p. 19.
- MEGAWHAT. **Transmissora de Energia Elétrica**. Acesso em: 10 de dezembro de 2023. S/D(h). Disponível em: <<https://megawhat.energy/verbetes/413/transmissora-de-energia-eletrica>>. Citado na p. 20.
- MEGAWHAT. **Preço de Liquidação de Diferenças (PLD)**. Acesso em: 29 de novembro de 2023. Disponível em: <<https://megawhat.energy/verbetes/378/preco-de-liquidacao-de-diferencas-pld>>. Citado na p. 24.

MESQUITA, M. **Modelo Para Auxiliar a Tomada de Decisão do Consumidor Dentro do Mercado Livre de Eletricidade Considerando Horizonte Anual e Aversão ao Risco**. 2022. Monografia de Graduação – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica, Distrito Federal. xvi, 113p., 210 x 297 mm. Citado nas pp. 22, 23, 36, 37.

MINAS E ENERGIA (MME), M. de. **Conheça as instituições do setor elétrico brasileiro e as competências de cada uma**. Acesso em: 10 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/conheca-as-instituicoes-do-setor-eletrico-brasileiro-e-as-competencias-de-cada-uma>>. Citado na p. 18.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **CMSE - Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico**. Acesso em: 10 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cmse>>. Citado na p. 18.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **CNPE - Conselho Nacional de Política Energética**. Acesso em: 10 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe>>. Citado na p. 18.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Consulta Pública**. Acesso em: 12 de dezembro de 2023. Disponível em: <https://antigo.mme.gov.br/pt/web/guest/servicos/consultas-publicas?p_p_id=consultapublicammepportlet_WAR_consultapublicammepportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_consultapublicammepportlet_WAR_consultapublicammepportlet_view=detalharConsulta&resourcePrimKey=3123629&detalharConsulta=true&entryId=3123631>. Citado na p. 21.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Portaria Normativa nº 50, de 27 de setembro de 2022**. Acesso em: 23 de dezembro de 2023. 2022. Disponível em: <<https://in.gov.br/web/dou/-/portaria-normativa-n-50/gm/mme-de-27-de-setembro-de-2022-432279937>>. Citado nas pp. 15, 21, 26.

ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Procedimentos de Rede Vigentes**. Acesso em: 12 de dezembro de 2023. s/d. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/procedimentos-de-rede/vigentes>>. Citado na p. 65.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **O que é ONS**. Acesso em: 10 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>>. Citado na p. 19.

- PORTAL SOLAR. **Célula Fotovoltaica: O que é, Como Funciona e Para que Serve**. Acesso em: 12 de dezembro de 2023. 2023. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>>. Citado na p. 27.
- PORTAL SOLAR. **Placa de Energia Solar - Modelos e Preços**. Acesso em: 12 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/placa-de-energia-solar-modelos-precos>>. Citado na p. 35.
- PRADO, J. C. do; CHIKEZIE, U. A Decision Model for an Electricity Retailer with Energy Storage and Virtual Bidding Under Daily and Hourly CVaR Assessment. **School of Engineering and Computer Science, Washington State University, Vancouver, WA 98686 USA**, 2023. Corresponding author: Josue Campos do Prado (e-mail: josue.camposdoprado@wsu.edu). This work was supported in part by the Power Systems Engineering Research Center (PSERC) Grant M-41. Citado nas pp. 36, 37.
- ROCHA, J. E. N. d. **Sistema inteligente de diagnósticos energéticos e de análise de investimentos em projetos de eficiência energética gerenciados pelo lado da demanda**. 2018. Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-RIO. Orientador: Marco Aurelio Cavalcanti Pacheco. Citado na p. 37.
- SMA SOLAR TECHNOLOGY AG. **Perfratio - The Right Way to Size**. Acesso em: 12 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://files.sma.de/downloads/Perfratio-TI-en-11.pdf>>. Citado na p. 35.
- SOLAR, E. **Entenda o Sistema Solar Fotovoltaico**. Acesso em: 12 de dezembro de 2023. Citado na p. 28.
- WITZLER. **Mercado Livre de Energia**. Acesso em: <data de acesso>. dezembro 2021. Disponível em: <<https://www.witzler.com.br/2021/12/23/mercado-livre-de-energia/>>. Citado na p. 24.

Apêndices

Apêndice A – Códigos

A.1 Código em Julia sobre a minimização de custos

Código A.1 – Código em Julia

```

1 using Gurobi
2 using JuMP
3 using Statistics
4 using CSV
5 using DataFrames
6 using Plots
7 using StatsPlots
8
9 pldc = [
10 51.1290460135729 50.5330103785984 48.5259922702922
    47.9299566353177 51.8106466799452 51.2146110449707
    53.5437555921893 52.9477199572148 54.1784740884025
    53.582438453428 53.0164028184535 52.420367183479
    51.0698393079892 50.4738036730147 49.8777680380402
    49.2817324030658 48.6856967680913 48.0896611331168
    47.4936254981423 46.8975898631678
11 55.1039643650255 54.507928730051 53.9118930950766
    53.3158574601021 52.7198218251276 48.7481023532459
    48.1520667182714 47.556031083297 46.9599954483225
    50.84068549295 50.2446498579755 48.2376317496693
    47.6415961146948 50.4941798532161 44.9432716927544
    47.272416239973 46.6763806049985 46.080344970024
    41.2078032864179 39.2007851781116
12 54.8389643650255 54.242928730051 53.6468930950766
    51.6398749867703 51.0438393517958 49.693311476306
    49.0972758413315 48.5012402063571 47.9052045713826
    47.3091689364081 42.436627252802 41.8405916178275
    41.244555982853 43.5737005300716 42.9776648950971
    42.3816292601226 41.7855936251482 45.6662836697757
    45.0702480348012 44.4742123998267
13 55.1039643650255 54.4879147942591 53.8918791592846
    55.224046790252 59.1047368348795 58.5087011999051
    57.9126655649306 57.3166299299561 56.7205942949816
    56.1245586600071 55.5285230250326 54.9324873900582
    54.3364517550837 53.7404161201092 56.5929998586305
    51.0420916981688 72.8357544774633 94.6294172567578
    94.0333816217834 93.4373459868089
14 55.1039643650255 56.4361319959929 55.8400963610185
    58.6926800995398 58.0966444645653 57.5006088295908
    56.9045731946163 56.3085375596419 55.7125019246674
    55.1164662896929 54.5204306547184 56.660738840564
    56.0647032055895 57.3968708365569 79.1905336158515

```

	78.594497980877	77.9984623459025	73.4275083594754
	72.8314727245009	72.2354370895264	
15	59.5806900446275	58.984654409653	58.3886187746785
	57.7925831397041	57.1965475047296	56.5804979339632
	55.9844622989887	55.3884266640142	54.7923910290397
	54.1963553940652	53.6003197590908	53.0042841241163
	52.4082484891418	51.8122128541673	53.1443804851347
	52.5483448501602	51.9523092151858	55.8329992598133
	54.4824713843234	48.9315632238617	
16	59.5806900446275	58.984654409653	61.1249625954986
	60.5289269605241	59.9328913255496	59.3368556905752
	58.7408200556007	58.1447844206262	57.5487487856517
	52.6762071020456	52.0801714670711	51.4841358320966
	50.8881001971221	50.2920645621477	45.7211105757205
	48.5736943142419	47.9776586792674	47.3816230442929
	46.7855874093184	46.1895517743439	
17	55.0839504292336	54.4879147942591	56.6282229801047
	56.0321873451302	55.4361517101557	54.8401160751812
	54.2440804402068	53.6480448052323	53.0520091702578
	55.1923173561034	49.6414091956416	45.6696897237599
	45.1036540887855	41.1319346169038	40.5358989819293
	39.9398633469548	39.3438277119803	38.7777920770059
	60.5714548563004	59.9754192213259	
18	55.1039643650255	54.507928730051	53.9118930950766
	75.7055558743711	71.134601887944	70.5385662529695
	69.942530617995	69.3464949830205	68.750459348046
	68.1544237130716	67.5583880780971	66.9623524431226
	68.1931065743102	72.0737966189378	71.4777609839633
	70.9117253489888	70.3156897140143	69.7196540790398
	69.1236184440653	67.7730905685755	
19	54.8389643650255	54.242928730051	53.3818930950766
	52.7858574601021	52.1898218251276	51.5937861901531
	50.9977505551786	50.1367149202041	49.5406792852297
	48.9446436502552	51.0849518361008	50.4889162011263
	49.8928805661518	49.2968449311773	48.7008092962028
	47.8397736612283	46.4892457857385	51.3524436822074
	46.4799019986012	45.8838663636268	
20	55.1039643650255	53.0969462567193	52.5009106217448
	51.9048749867703	50.5543471112805	45.6818054276744
	45.0857697926999	44.4897341577254	47.3423178962467
	46.7462822612723	46.1502466262978	45.5542109913233
	48.4067947298446	47.8107590948701	47.2147234598957
	43.243003988014	42.6469683530395	37.7744266694334
	37.1783910344589	36.5823553994844	
21	55.1339643650255	54.537928730051	53.9418930950766
	53.3458574601021	52.7498218251276	52.1537861901531
	51.5577505551786	50.9417009844122	50.3456653494377
	52.6748098966563	50.6677917883501	50.0717561533756
	49.4757205184011	47.4687024100949	46.8726667751204
	46.2766311401459	45.6805955051714	48.00974005239
	51.8904300970175	51.294394462043	

22 55.1039643650255 54.507928730051 53.9118930950766
 53.2958435243101 48.724889537883 70.5185523171776
 69.9225166822031 71.1532708133907 69.1462527050845
 67.1392345967782 62.5682806103511 61.9722449753766
 63.2029991065643 62.6069634715898 65.4595472101111
 64.8635115751367 64.2674759401622 63.6714403051877
 63.0754046702132 65.9279884087345
 23 55.1039643650255 50.5330103785984 49.916960807832
 49.3209251728575 48.724889537883 43.8523478542769
 38.3014396938151 37.6853901230487 37.0893544880742
 36.4933188530998 35.8972832181253 37.1280373493129
 36.5320017143384 35.935966079364 35.3399304443895
 30.4673887607834 31.7995563917508 31.2035207567763
 35.0842108014038 34.4881751664293
 24 55.1039643650255 54.507928730051 53.9118930950766
 53.2958435243101 52.6998078893357 52.1037722543612
 51.5077366193867 50.9117009844122 50.3156653494377
 49.7196297144632 49.1235940794888 45.1518746076071
 44.5558389726326 39.0049308121709 38.4088951771964
 32.8579870167346 34.1901546477021 33.3291190127276
 36.1817027512489 35.5856671162744
 25 55.1039643650255 54.507928730051 53.9118930950766
 49.3409391086494 48.744903473675 47.8838678387005
 47.287832203726 46.6917965687515 46.095760933777
 41.5248069473499 40.9287713123754 40.3327356774009
 39.7367000424265 39.140664407452 38.5446287724775
 37.948593137503 37.3525575025285 36.7565218675541
 36.1904862325796 35.5944505976051
 26 55.1039643650255 54.507928730051 53.9118930950766
 53.3158574601021 52.7198218251276 55.0489663723462
 54.4529307373717 53.5918951023972 55.7322032882428
 55.1361676532683 54.5401320182938 53.9440963833194
 56.0844045691649 55.4883689341904 50.6158272505843
 50.0197916156098 49.4237559806354 48.8277203456609
 48.2316847106864 47.3706490757119
 27 55.1039643650255 54.507928730051 53.9118930950766
 53.3158574601021 52.7198218251276 48.7481023532459
 44.1771483668188 42.1701302585126 41.5740946235381
 40.9780589885636 43.8306427270849 43.2346070921105
 42.638571457136 42.0425358221615 41.446500187187
 40.8504645522125 40.284428917238 39.6883932822636
 39.0923576472891 38.5263220123146
 28 55.1039643650255 54.507928730051 48.9570205695893
 48.3609849346148 47.7649492996403 46.9039136646659
 46.3078780296914 45.7118423947169 45.1158067597424
 43.7652788842526 43.1692432492781 42.5732076143036
 41.9571580435372 43.2893256745046 42.6932900395301
 42.0972544045557 41.5012187695812 63.2948815488757
 62.6988459139012 62.1028102789267
 29 58.5525837385213 57.9565481035469 60.2856926507654
 55.4131509671593 54.8171153321848 49.9445736485787
 49.3485380136042 51.4888461994498 52.8210138304172

	52.2249781954427	50.8744503199529	50.2784146849784
	54.1591047296059	53.5630690946315	52.967033459657
	48.9953139877753	48.4292783528008	47.8332427178263
	47.2372070828519	46.6411714478774	
30	55.1039643650255	54.507928730051	53.9118930950766
	53.3158574601021	48.443315776496	47.8472801415215
	42.2963719810597	40.2893538727535	43.1419376112748
	41.791409735785	41.1953741008105	40.599338465836
	40.0033028308615	39.4072671958871	38.8112315609126
	38.2151959259381	37.6191602909636	39.9483048381822
	39.3522692032077	40.6844368341751	
31	55.1039643650255	54.507928730051	53.9118930950766
	53.3158574601021	55.4561656459476	54.8601300109732
	58.7408200556007	58.1447844206262	57.5487487856517
	56.9527131506772	56.3566775157027	55.7606418807283
	55.1646062457538	50.5936522593267	49.9976166243522
	52.8502003628735	52.254164727899	51.6581290929246
	51.0620934579501	50.4660578229756	
32	55.1039643650255	54.507928730051	53.9118930950766
	58.7750909915454	62.6557810361729	62.0597454011984
	61.4637097662239	60.8676741312494	60.271638496275
	59.6756028613005	60.9063569924881	60.3103213575136
	59.7142857225392	59.1182500875647	58.5222144525902
	57.9261788176157	57.3301431826412	56.7140936118748
	56.1180579769003	59.9987480215278	
33	55.1039643650255	57.4331089122441	56.8370732772696
	56.2410376422952	55.6450020073207	55.0489663723462
	54.4529307373717	53.8568951023972	53.2608594674227
	52.6648238324483	52.0687881974738	50.718260321984
	50.1222246870095	49.526189052035	44.6536473684289
	43.7926117334544	43.1965760984799	42.6005404635054
	42.0045048285309	41.4084691935565	
34	60.5631978964688	59.9671622614943	55.0946205778882
	54.4985849429137	55.7293390741014	57.869647259947
	56.5191193844571	55.9230837494827	55.3270481145082
	54.7310124795337	54.1349768445592	53.5389412095847
	49.5672217377031	48.9711861027286	48.3751504677541
	47.7791148327796	47.1830791978051	46.5870435628307
	42.0160895764035	44.1563977622491	
35	55.1039643650255	76.8976271443201	76.3015915093456
	75.7055558743711	75.1095202393966	74.5134846044221
	73.9174489694476	73.3214133344732	71.3143952261669
	70.7183595911924	73.5709433297138	72.9749076947393
	72.3788720597648	71.028344184275	70.4323085493005
	69.836272914326	69.2402372793515	68.6442016443771
	68.0481660094026	67.4521303744281	
36	57.0321676309674	56.4361319959929	55.8400963610185
	54.4895684855286	53.8935328505542	48.3426246900924
	50.671769237311	50.0757336023365	51.4079012333039
	50.8418655983294	52.1740332292969	51.5779975943224
	50.9819619593479	50.3859263243734	49.7898906893989
	54.6530885858678	57.5056723243891	56.1551444488993

	55.5390948781329	54.9230453073664	
37	54.8389643650255	54.242928730051	53.6468930950766
	53.0508574601021	52.4548218251276	51.8587861901531
	54.7113699286744	54.1153342937	53.5192986587255
	58.3824965551943	57.7864609202198	57.1904252852453
	56.5943896502709	55.9983540152964	58.1386622011419
	57.5426265661675	56.946590931193	56.3505552962185
	55.754519661244	55.1584840262695	
38	55.1039643650255	58.984654409653	58.3886187746785
	57.7925831397041	57.1965475047296	56.5804979339632
	54.5734798256569	53.9774441906824	53.381408555708
	52.7853729207335	52.189337285759	51.5933016507845
	50.9772520800181	50.3812164450436	49.7851808100691
	49.1891451750946	48.5931095401202	47.9970739051457
	47.4010382701712	46.8050026351967	
39	55.1039643650255	54.507928730051	57.3605124685724
	56.7644768335979	52.1935228471708	51.5974872121963
	49.59046910389	48.9944334689156	43.4435253084538
	42.8474896734793	42.2514540385049	43.5836216694723
	42.9675720987058	42.3715364637314	41.7755008287569
	41.2094651937824	40.6134295588079	40.0173939238334
	39.421358288859	38.8253226538845	
40	55.1039643650255	56.3347184962132	50.7838103357514
	50.1877747007769	53.0403584392983	52.4743228043238
	51.8782871693493	51.2822515343748	50.6862158994003
	50.0901802644259	49.4941446294514	48.878095058685
	48.2820594237105	50.4223676095561	49.8263319745816
	49.2302963396071	48.6342607046326	50.7745688904782
	54.6552589351057	50.0843049486786	
41	57.8403081858456	57.2742725508711	79.0679353301656
	78.4718996951912	77.8758640602167	77.2798284252422
	75.2728103169359	76.5035644481236	75.9075288131491
	75.3414931781746	74.7454575432001	76.0776251741676
	75.4815895391931	74.8855539042186	74.2895182692441
	73.6934826342696	73.0974469992952	72.5014113643207
	71.8853617935543	71.2893261585798	
42	55.1039643650255	54.507928730051	53.9118930950766
	75.7055558743711	76.9363100055587	76.3402743705843
	75.7442387356098	75.1482031006353	96.9418658799298
	96.3458302449554	95.7497946099809	95.1337450392145
	97.9863287777358	97.3902931427613	101.270983187389
	100.674947552414	100.07891191744	103.959601962067
	103.363566327093	98.4910246434867	
43	55.1039643650255	54.507928730051	57.3605124685724
	56.7644768335979	56.1684411986234	55.5724055636489
	54.9763699286744	54.3803342937	53.7842986587255
	53.188263023751	52.5922273887765	51.996191753802
	51.4001561188276	52.6309102500152	52.0348746150407
	51.4388389800662	53.7679835272848	56.0971280745034
	55.481078503737	54.8850428687625	
44	55.1039643650255	49.5530562045638	48.9570205695893
	44.9853010977076	44.3892654627331	43.7932298277587

	43.1971941927842	42.6011585578097	42.0051229228352
	41.4090872878607	39.4020691795545	38.80603354458
	34.2350795581529	29.3625378745468	28.7665022395723
	28.1704666045978	49.9641293838923	49.3680937489179
	48.8020581139434	48.2060224789689	
45	55.1039643650255	54.507928730051	53.9118930950766
	53.3158574601021	52.7198218251276	52.1237861901531
	51.5277505551786	50.9317149202042	50.3356792852297
	49.7396436502552	49.1436080152807	48.5475723803062
	52.4282624249337	53.6590165561214	55.98816110334
	55.3921254683655	54.796089833391	58.6767798780185
	58.080744243044	57.4847086080696	
46	55.1039643650255	54.507928730051	53.9118930950766
	53.3158574601021	52.7198218251276	52.1237861901531
	56.0044762347806	55.4084405998061	56.6391947309938
	58.7795029168394	58.1834672818649	61.0360510203862
	59.6855231448964	61.825831330742	61.2297956957675
	60.633760060793	56.6620405889113	56.0660049539369
	55.4699693189624	54.8739336839879	
47	55.1039643650255	49.5530562045638	51.8822007517824
	51.2861651168079	50.6901294818334	50.0940938468589
	49.4980582118844	48.90202257691	46.8950044686037
	44.8879863602975	44.291950725323	43.6959150903485
	43.099879455374	45.4290240025926	44.8329883676181
	44.2369527326437	43.6409170976692	43.0448814626947
	42.4488458277202	41.8528101927457	
48	55.1039643650255	54.507928730051	52.5009106217448
	51.9048749867703	47.3339210003432	46.7378853653687
	41.8653436817626	41.2693080467881	36.396766363182
	32.4250468913003	27.8540929048732	27.2580572698987
	31.1387473145262	30.5427116795517	29.9466760445772
	29.3506404096028	28.7546047746283	30.8949129604739
	30.2988773254994	52.0925401047939	
49	55.1039643650255	54.507928730051	53.8918791592846
	56.744462897806	56.1784272628315	55.582391627857
	54.9863559928825	57.3155005401011	56.7194649051266
	56.1234292701521	55.5273936351777	54.9313580002032
	54.3353223652287	53.7392867302542	53.1432510952797
	52.5472154603052	51.1966875848154	50.6006519498409
	50.0046163148665	49.408580679892	
50	55.1039643650255	54.507928730051	53.9118930950766
	53.3158574601021	52.7198218251276	52.1237861901531
	47.251244506547	46.6552088715725	45.3046809960827
	50.1678788925515	49.571843257577	48.9758076226025
	70.7694704018971	70.1734347669226	69.5773991319481
	68.9813634969736	70.2121176281613	69.6160819931868
	69.0200463582123	68.4240107232378	
51	51.7282805281183	51.1322448931438	50.5362092581694
	49.9701736231949	49.3741379882204	48.7781023532459
	48.1820667182714	47.586031083297	51.4667211279245
	50.87068549295	50.2746498579755	49.678614223001
	49.0825785880265	48.4865429530521	47.8905073180776

	47.3244716831031	49.6536162303217	49.0575805953472
	48.4615449603727	47.8655093253982	
52	55.1339643650255	54.537928730051	53.9418930950766
	75.7355558743711	77.8758640602167	77.2798284252422
	76.6837927902677	78.8241009761133	78.2280653411388
	76.2210472328326	75.6250115978581	75.0289759628836
	74.4329403279091	73.8369046929346	68.2859965324729
	67.6899608974984	67.0939252625239	65.7433973870341
	65.1473617520596	61.175642280178	
53	55.0839504292336	56.3147045604212	57.5454586916089
	56.9494230566344	56.3533874216599	55.7573517866854
	55.161316151711	54.5652805167365	57.4178642552578
	56.8218286202833	56.2257929853088	55.6297573503344
	55.0337217153599	54.4376860803854	53.8416504454109
	53.2456148104364	52.649579175462	51.2990512999721
	45.7481431395104	45.1521075045359	
54	55.1039643650255	54.507928730051	76.3015915093456
	75.7055558743711	75.1095202393966	74.5134846044221
	75.8456522353895	75.2496166004151	77.5787611476337
	76.9827255126592	79.1230336985047	78.5269980635303
	73.6544563799241	73.0584207449497	72.4923851099752
	71.6313494750007	71.0353138400262	75.898511736495
	75.3024761015206	74.7064404665461	
55	55.1039643650255	53.7534364895357	53.1574008545612
	52.5613652195867	51.9653295846123	46.4144214241505
	44.4074033158443	43.8113676808698	43.2153320458953
	46.0679157844166	45.4718801494422	46.7026342806298
	46.1065986456553	45.5105630106808	47.6508711965264
	43.6791517246448	45.8194599104903	45.2234242755159
	46.4541784067035	45.858142771729	
56	77.4936627792945	72.9227087928674	72.3266731578929
	71.7306375229185	71.134601887944	70.5385662529695
	69.942530617995	69.3464949830205	68.750459348046
	70.0826269790135	69.486591344039	91.2802541233335
	92.5110082545212	91.9149726195467	87.943253147665
	87.3472175126905	88.5779716438782	89.8087257750658
	89.2126901400914	88.6166545051169	
57	57.0321676309674	56.4361319959929	55.8400963610185
	77.633759140313	80.4863428788343	79.8903072438598
	82.2194517910784	81.623416156104	81.0273805211295
	79.0203624128232	78.1593267778487	77.5632911428743
	76.9672555078998	76.3712198729253	77.7033875038927
	77.1073518689182	72.2348101853121	71.6387745503376
	71.0227249795712	67.0510055076895	
58	54.3494721245102	53.7534364895357	53.1874008545612
	52.5913652195867	48.6196457477051	43.7471040640989
	43.1510684291245	42.55503279415	37.0041246336882
	36.4080889987138	32.4363695268321	35.2889532653534
	34.6929176303789	34.0968819954044	33.50084636043
	32.9048107254555	32.308775090481	31.7127394555065
	31.116703820532	32.4488714514994	

```

59 55.1039643650255 54.507928730051 53.8918791592846
    53.2958435243101 52.6998078893357 52.1037722543612
    51.5077366193867 50.9117009844122 53.7642847229335
    48.8917430393274 43.3408348788657 47.2215249234932
    46.6254892885187 46.0294536535442 44.022435545238
    43.4263999102635 42.830364275289 42.2143147045226
    41.6182790695481 39.6112609612419
60 55.1039643650255 49.5530562045638 48.9570205695893
    48.3609849346148 51.2135686731361 54.0661524116575
    48.5152442511957 47.9192086162212 47.3231729812468
    46.7271373462723 49.0562818934909 51.3854264407095
    50.789390805735 50.1933551707605 49.597319535786
    44.7247778521799 44.1287422172054 43.5327065822309
    42.9366709472565 41.5861430717666
61 60.5631978964688 59.9671622614943 59.3711266265199
    58.7750909915454 58.1790553565709 57.5830197215964
    56.9869840866219 56.3909484516475 55.794912816673
    55.1988771816985 54.602841546724 54.0068059117495
    53.410770276775 54.6415244079627 58.5222144525902
    57.9261788176157 57.3301431826412 56.7341075476668
    56.1380719126923 55.5420362777178
62 ] ## cenários de preço
63
64 cargasc = [
65 15.353077512556666 14.9854603350052 15.139331440716168
    15.286849058241401 15.3070014842679 15.3453380029864
    15.153315467930268 14.893808061060966 14.9641400697756
    14.935703960638333 15.033138354992268 15.142682831202599
    15.097751432166 15.207295908376333 14.961436255266134
    14.834142545439066 14.574635138569766 14.8177120584671
    14.895101642809765 14.767807932982668
66 15.784621756873833 15.522608570522868 15.477677171486233
    15.3995045363703 15.0549077072518 14.809048054141634
    14.847384572860134 14.655362037803998 14.626925928666735
    14.563937645913567 14.304430239044235 14.177136529217167
    14.423908778180333 14.501298362523 14.391815210088199
    14.313175376486901 14.390564960829566 14.410717386856065
    14.365785987819434 14.755685570828767
67 15.429590828693366 15.6726677485907 15.410654562239733
    15.748853981217799 15.685778778265167 15.224209600127367
    15.175407038514699 15.261732686153666 15.183092852552365
    15.2007241174461 14.9548644643359 15.155583128051767
    15.0774104929358 15.1833648547453 15.386624371942967
    15.604575682571166 15.1430065044334 14.7753893268819
    14.8137258456004 14.852062364318932
68 15.016824212168267 14.938184378567 14.898532307016167
    14.853600907979567 14.7754282728636 14.578776811572832
    14.234179982454366 14.343724458664733 14.491242076189968
    14.577567723828933 14.542574829364767 14.575159153474132
    14.322689505593202 14.400079089935867 14.337090807182667
    14.423416454821634 14.685174534554568 14.645522463003735
    14.665674889030234 14.204105710892465

```


69 15.632264496017035 15.6038283868798 15.676184001678301
15.782138363487801 15.854493978286333 15.6939983396452
15.497346878354433 15.7006063955521 15.777995979894767
15.7495598707575 15.381942693206033 15.632117465040068
15.440094929983934 15.194235276873767 15.341752894398967
15.4120849031136 15.509519297467534 15.581874912266032
15.6914193884764 15.711571814502902

70 15.429590828693366 15.366515625740734 15.430409139402833
15.692167219135767 15.432659812266435 15.272164173625299
15.434713655045634 15.481949780896235 15.321454142255133
15.398843726597802 15.4189961526243 15.156982966273299
15.319532447693634 15.250763299564099 15.2709157255906
15.207840522637966 14.961980869527766 15.109498487053001
15.2720479684733 15.310384487191799

71 15.415405107552866 15.633356418181066 15.787227523892065
15.595204988835901 15.795923652551766 15.334354474413999
15.431788868767933 15.585659974478935 15.975559557488268
16.039453071150366 16.392382966664467 16.314210331548498
16.235570497947233 16.156930664345932 16.3576493280618
16.29457412510917 16.371963709451833 16.442295718166466
16.363655884565166 16.0190590554467

72 15.21885983436733 15.608785566446066 15.858960338280134
15.823967443815967 15.755198295686467 15.909069401397467
15.845994198444833 16.1522225650126 15.955571103721866
16.308500999235935 15.963904170117466 15.984056596143967
16.1315742136692 15.879104565788268 15.619597158918966
15.811631164535934 16.164561060050033 16.5027604790281
16.375466769201033 16.395619195227535

73 15.4002207551901 15.154361102079902 15.2267167168784
15.1172335644436 15.1895891792421 15.227925697960634
15.489683777693534 15.637201395218767 15.5742131124656
15.2065959349141 14.9470885280448 14.602491698926334
14.820443009554532 14.982992490974832 14.737132837864634
14.775469356583132 14.697296721467199 15.003525088034968
15.250297336998166 15.089801698357034

74 15.831323285820133 15.985194391531133 15.916425243401633
15.986757252116268 15.826261613475133 16.073033862438333
16.323208634272365 16.629437000840166 16.4327855395494
16.323302387114598 16.3705385129652 16.3906909389917
16.341888377379032 16.26324854377773 16.32714205743987
16.391035571101966 16.3123957375007 16.5741538172336
16.377502355942866 16.2993297208269

75 15.5879378665164 15.6518313801785 15.455179918887767
15.4201870244236 15.663263944320933 15.634827835183666
15.525344682748866 15.772116931712034 15.964150937329032
15.935714828191768 15.474145650054 15.583690126264367
15.538758727227732 15.611114342026267 15.5480391390736
15.484963936120968 15.436161374508266 15.545705850718633
15.748965367916268 15.4869521815653

76 15.225923742425133 15.190930847960965 14.938461200080068
15.010816814878567 14.949049412898068 15.046483807252
14.885988168610867 15.048537650031166 15.118869658745801

	15.3109036643628	15.051396257493467	15.0690275223872
	14.908531883746067	14.830359248630101	15.136587615197898
	15.213977199540567	15.2316084644343	15.478380713397465
	15.816580132375533	15.880473646037666	
77	15.218885983436733	15.366403600961966	15.303415318208765
	15.1780994404594	15.133168041422765	15.3949261211557
	15.316286287554433	15.287850178417166	15.041990525306966
	15.189508142832201	15.392767660029866	15.782667243039166
	15.8299033688898	16.1828332644039	16.246726778066
	16.201795379029367	16.1231555454281	15.995861835601033
	15.9327866326484	16.0051422474469	
78	15.133796561187566	15.351747871815768	15.306816472779133
	15.3394007968885	15.501950278308799	15.572282287023434
	15.523479725410766	15.483827653859933	15.556183268658435
	15.494415866677933	15.333920228036801	15.381156353887434
	15.642914433620367	15.846173950817999	16.0641252614462
	16.096709585555566	16.033721302802366	16.07205782152087
	16.275317338718533	16.02945768560833	
79	15.4153181873534	15.5691892930644	15.907388712042467
	16.016933188252832	16.1032588358918	16.1756144506903
	16.050298572940935	15.7907911660716	15.838027291922232
	15.493430462803767	15.640948080328998	15.444296619038234
	15.318980741288833	15.193664863539468	15.240900989390068
	15.487673238353267	15.597217714563634	15.335204528212634
	15.444749004423	15.366109170821732	
80	15.6791120540219	16.032041949535998	16.370241368514066
	16.209745729872967	16.084429852123566	16.474329435132898
	16.396156800016968	16.4287411241263	16.35056848901033
	16.3831528131197	16.137293160009502	16.3840654089727
	16.416649733082036	16.526194209292402	16.400878331543
	16.662636411275933	16.854670416892933	16.7929030149124
	16.729914732159234	16.947866042787435	
81	15.564719037944998	15.9176489334591	15.889212824321866
	15.810572990720566	15.548559804369601	15.469919970768332
	15.408152568787834	15.1556829209069	14.811086091788432
	14.8974117394274	14.819239104311434	14.757471702330934
	15.007646474165	15.208365137880866	15.1733722434167
	14.911359057065733	14.665499403955534	14.915674175789599
	15.0695452815006	15.407744700478666	
82	15.7285681621401	15.6889160905893	15.727252609307799
	15.8332069711173	15.939161332926801	15.860988697810834
	15.598975511459868	15.849150283293932	15.596680635413
	15.8434528843762	15.997323990087201	15.800672528796433
	15.6401768901553	15.5771886074021	15.449894897575033
	15.467526162468767	15.564960556822667	15.768220074020334
	15.423623244901867	15.5711408624271	
83	15.784621756873833	15.854953765588467	15.776313931987199
	15.846645940701833	15.864277205595533	15.881908470489266
	15.920244989207767	15.7929512793807	15.448354450262235
	15.838254033271568	15.710960323444468	15.961135095278534
	15.699121908927566	15.664129014463434	15.467477553172666
	15.340183843345566	15.646412209913366	15.6640434748071

	15.600968271854434	15.793002277471432	
84	15.550749005104565	15.9406485881139	15.815332710364501
	15.786896601227268	15.987615264943132	16.034851390793733
	16.112240975136398	15.984947265309332	15.906307431708067
	15.926459857734534	15.558842680183067	15.4806700450671
	15.590214521277467	15.808165831905667	16.198065414915
	15.853468585796534	15.784699437667035	16.174599020676364
	16.436357100409268	16.5087127152078	
85	15.516729909024567	15.778487988757467	16.1683875717668
	16.274341933576334	16.082319398520166	16.4722189815295
	16.489850246423234	16.230342839553934	16.327777233907835
	16.0753075860269	16.145639594741535	16.018345884914467
	15.821694423623699	15.7599270216432	15.724934127179033
	15.887483608599368	15.8244084056467	15.896764020445232
	15.868327911307967	15.806560509327467	
86	15.6791120540219	15.600939418905966	15.5659465244418
	15.643336108784467	15.298739279666	15.345975405516633
	15.418331020315135	15.257835381674033	15.344161029312966
	15.091691381432065	14.931195742790933	14.678726094910033
	15.016925513888099	14.971994114851467	15.3618936978608
	15.252410545426	15.5141686251589	15.732119935787098
	15.749751200680834	15.503891547570634	
87	15.351099680478967	15.460644156689334	15.7074164056525
	15.582100527903135	15.6684261755421	15.543110297792701
	15.575694621902066	15.778954139099701	16.022031058997033
	16.119465453350966	16.070662891738266	15.609093713600501
	15.574100819136367	15.314593412267035	15.187299702439967
	15.1086598688387	15.206094263192599	15.143105980439435
	15.0813385784589	14.713721400907433	
88	15.2863708552499	15.350264368912034	15.382848693021366
	15.3340461314087	15.496595612829	15.849525508343099
	16.050244172058967	16.159788648269302	16.034472770519933
	16.07280928923843	16.220326906763667	16.110843754328833
	16.0326711192129	16.1050267340114	16.065374662460567
	16.41830455797467	16.221653096683898	16.369170714209133
	16.109663307339833	16.182018922138333	
89	15.784621756873833	16.027698676771166	15.768191269901868
	15.785822534795566	16.1757221178049	16.1307907187683
	15.6692215406305	15.869940204346365	15.902524528455734
	15.440955350317966	15.392152788705268	15.4393889145559
	15.593260020266898	15.679585667905867	15.777020062259766
	15.708250914130266	15.814205275939768	15.9116396702937
	16.249839089271767	15.8822219117203	
90	15.351099680478967	15.368730945372699	15.439062954087333
	15.545017315896834	15.466844680780866	15.0992275032294
	14.754630674110933	15.001402923074101	14.961750851523268
	14.922098779972467	15.084648261392767	14.7170310838413
	14.471171430731099	14.279148895674966	14.343042409337066
	14.279967206384434	14.2350358073478	14.3975852887681
	14.600844805965766	14.348375158084833	
91	15.525629516156668	15.476826954544	15.0152577764062
	15.405157359415533	15.360225960378934	15.107756312498

15.445955731476067 15.285460092834967 15.303091357728666
 14.958494528610201 15.0644488904197 15.0247968188689
 15.095128827583501 14.633559649445735 14.8368191666434
 14.775051764662868 14.8474073794614 14.784332176508734
 14.587680715218 14.741551820928967
 92 15.399753556704766 14.938184378567 15.328083961576333
 15.475601579101566 15.813800998079634 16.0639757699137
 16.1363313847122 16.1564838107387 16.031167932989334
 16.1174935806283 16.367668352462367 16.3326754579982
 16.442219934208566 16.539654328562467 16.612009943361
 16.6759034570231 16.92607822885717 16.734055693801032
 16.537404232510266 16.4101105226832
 93 15.632264496017035 15.670601014735567 16.060500597744902
 16.124394111407 15.756776933855534 15.910648039566501
 15.7501524009254 15.814045914587501 16.075803994320434
 15.708186816768935 15.780542431567467 15.857932015910132
 15.8130006168735 15.860236742724133 15.957671137078032
 15.698163730208734 15.436150543857766 15.453781808751467
 15.194274401882167 15.002251866826034
 94 15.4499572811688 15.6038283868798 15.525188553278499
 15.463421151298 15.5017576700165 15.452955108403833
 15.696032028301167 15.504009493245034 15.576365108043532
 15.593996372937267 15.691430767291166 15.628355564338534
 15.503039686589133 15.158442857470668 15.361702374668333
 15.714632270182433 15.452619083831435 15.403816522218767
 15.501250916572666 15.439483514592167
 95 15.868292973315368 15.9742473351249 15.864764182690067
 15.802996780709568 15.8502329065602 15.959777382770532
 15.697764196419568 15.628995048290067 15.692888561952167
 15.790322956306099 16.0082742669343 16.0806298817328
 16.158019466075466 15.896006279724467 16.04987738543547
 15.986802182482833 16.33973207799693 16.677931496975
 16.921008416872333 16.6685387689914
 96 15.564719037944998 15.767978555142667 15.706211153162167
 15.778566767960667 15.715491565008032 15.753828083726534
 15.786412407835899 15.707772574234601 15.785162158577267
 15.988421675774932 15.863105798025535 15.603598391156233
 15.675954005954734 15.483931470898598 15.554263479613233
 15.708134585324233 15.805568979678133 15.756766418065467
 15.647283265630634 15.4552607305745
 97 15.416625988325533 15.371694589288934 15.477648951098432
 15.449212841961165 15.404281442924534 15.622232753552732
 15.582580682001899 15.972480265011233 16.219252513974435
 16.190816404837168 16.129049002856664 15.937026467800534
 16.14028598499817 16.332319990615165 16.494869472035464
 16.5923038663894 16.612456292415867 16.572804220865066
 16.447488343115666 16.402556944079034
 98 15.368910237871233 15.241616528044167 15.081120889403033
 15.234991995114035 15.452943305742233 15.207083652632035
 15.270977166294132 15.2313250947433 15.328759489097232
 15.482630594808233 15.835560490322335 16.0275944959393
 15.76808708907 15.658603936635167 15.744929584274134

	15.765082010300633	15.8424715946433	15.7737024465138
	16.016779366411132	16.034410631304834	
99	15.725165639269234	15.6802342402326	15.601594406631333
	15.4921112541965	15.598065616006034	15.253468786887533
	15.184699638758033	15.4348744105921	15.4550268366186
	15.705201608452667	15.722832873346368	15.654063725216867
	15.394556318347567	15.4648883270622	15.803087746040267
	15.611065210984135	15.6973908586231	15.235821680485332
	15.196169608934499	15.266501617649133	
100	15.516729909024567	15.719989426222199	15.792345041020733
	15.729356758267533	15.604040880518134	15.564388808967335
	15.102819630829567	15.173151639544166	15.1243490779315
	15.089356183467332	15.195310545276833	14.850713716158367
	14.591206309289065	14.3291931229381	14.300757013800833
	14.504016530998468	14.609970892807967	14.4826771829809
	14.674711188597898	14.547417478770798	
101	15.564719037944998	15.197101860393532	15.1340266574409
	15.070951454488233	14.992311620886966	15.139829238412199
	15.249373714622566	15.346808108976466	15.0847949226255
	14.838935269515298	15.0568865801435	15.095223098862
	14.9347274602209	15.005059468935533	14.752589821054599
	14.4930824141853	14.1484855850668	14.501415480580901
	14.309392945524765	14.148897306883633	
102	15.5879378665164	15.548285794965567	15.749004458681434
	15.381387281129967	15.631562052964034	15.937790419531835
	16.199548499264733	16.1213758641488	16.368148113111967
	16.323216714075333	16.197900836325967	16.284226483964932
	16.0922039489088	16.178529596547765	16.051235886720665
	16.269187197348867	16.575415563916668	16.4972429288007
	16.3877597763659	16.12825236949657	
103	15.525629516156668	15.0640603380189	14.602491159881133
	14.750008777406366	14.497539129525434	14.337043490884334
	14.369627814993665	14.6313858947266	14.8493372053548
	14.7220434955277	14.673240933915032	14.6283095348784
	14.583378135841768	14.215760958290302	14.180768063826166
	14.4238449837235	14.674019755557532	14.605250607428033
	14.260653778309567	14.333009393108066	
104	15.816592809284133	16.206492392293466	16.5963919753028
	16.5276228271733	16.281763174063098	16.528535423026266
	16.592428936688368	16.839201185651564	16.770432037522067
	17.123361933036133	17.0949258238989	17.049994424862266
	16.889498786221168	17.1396735580552	17.210005566769834
	17.47176364650277	17.402994498373268	17.755924393887366
	17.8654688700977	18.127226949830632	
105	15.525629516156668	15.5432607810504	15.283753374181067
	15.3220898928996	15.253320744770066	15.184551596640567
	15.121476393687933	15.2310208698983	14.9851612167881
	15.005313642814565	15.025466068841068	15.268542988738401
	15.1080473500973	15.460977245611367	15.5669316074209
	15.4396378975938	15.472222221703168	15.634771703123468
	15.4381202418327	15.409684132695467	

106 15.564719037944998 15.4552358855102 15.1957284786409
 15.150797079604267 14.898327431723333 14.737831793082234
 14.674756590129567 14.866790595746567 14.884421860640266
 14.815652712510767 15.077410792243699 15.109995116353067
 15.207429510706966 15.408148174422834 15.428300600449333
 15.366533198468835 15.288360563352867 15.035890915471933
 14.987088353859265 15.025424872577766
 107 15.438741318755234 15.369972170625735 15.321169609013033
 15.193875899185967 14.849279070067501 14.780509921937968
 14.3189407438002 14.405266391439168 14.597300397056166
 14.519127761940199 14.484134867476067 14.374651715041233
 14.305882566911734 14.270889672447566 14.235896777983434
 13.9834271301025 14.053759138817133 14.254477802533001
 14.129161924783633 13.761544747232135
 108 15.409624242176534 15.495949889815499 15.7139012004437
 16.05210061942177 16.069731884315498 15.942438174488432
 15.907445280024268 15.862513880987665 15.783874047386368
 16.1737736303957 16.0132779917546 15.816626530463834
 15.914060924817733 15.652047738466768 15.690384257185267
 15.799928733395634 16.061686813128567 16.148012460767532
 16.165643725661234 16.130650831197098
 109 15.110776212754566 15.2082106071085 15.305645001462432
 15.468194482882732 15.428542411331899 15.176072763450968
 15.514272182429067 15.9041717654384 15.651702117557468
 16.0416017005668 16.0799382192853 16.1438317329474
 15.799234903828934 16.105463270396733 16.152699396247368
 16.027383518497967 15.9487436848967 16.15200320209433
 16.215896715756468 16.137256882155167
 110 15.725165639269234 15.656396491139732 15.810267596850734
 15.7706155252999 16.160515108309234 16.091745960179733
 16.3096972708079 16.559872042641967 16.367849507585834
 16.175826972529702 16.0505110947803 16.147945489134234
 16.365896799762435 16.3209654007258 16.276034001689165
 16.197861366573232 16.40112088377087 16.507075245580367
 16.254605597699467 16.340931245338435
 111 15.353077512556666 15.290002309604034 15.226927106651367
 15.380798212362366 15.3021583787611 15.273722269623834
 15.360047917262799 15.749947500272134 15.288378322134365
 15.626577741112433 15.563589458359267 15.500601175606066
 15.533185499715435 15.271172313364433 15.318408439215068
 15.208925286780266 15.147157884799734 15.233483532438699
 15.434202196154567 15.6959602758875
 112 15.575827784659966 15.882056151227767 15.636196498117565
 15.674533016836067 15.547239307009 15.4219234292596
 15.159910242908632 15.207146368759267 15.425097679387468
 15.497453294185966 15.535789812904467 15.797547892637398
 15.5516882395272 15.649122633881134 15.713016147543234
 15.520993612487102 15.668511230012333 15.589871396411068
 15.752420877831367 15.816314391493465
 113 15.416625988325533 15.072029159207068 15.010261757226566
 14.6426445796751 14.450622044618934 14.613171526039267
 15.0030711090486 14.924431275447299 14.8556621273178

```

15.098739047215133 15.261288528635433 15.212485967022767
15.250822485741267 15.2980586115919 15.3452947374425
15.296492175829833 15.686391758839166 15.4897402975484
15.599284773758766 15.559632702207933
114 15.232533737195867 15.169545454442668 15.1871767193364
15.379210724953367 15.465536372592332 15.512772498442965
15.576666012105067 15.615002530823567 15.6622386566742
15.6004712546937 15.531702106564198 15.468713823811001
15.341420113983935 15.544679631181566 15.897609526695668
16.287509109705 15.919891932153533 16.0737630378645
15.964279885429699 16.111797502954932
115 15.281741929015299 15.352073937729934 15.090060751378934
14.962767041551865 14.5951498640004 14.742667481525634
14.546016020234866 14.353993485178734 14.597070405076067
14.5620775106119 14.401581871970768 14.6633399517037
14.913514723537766 15.1565916434351 15.0471084910003
15.209657972420601 15.599557555429932 15.671913170228434
15.546597292479065 15.593833418329666
116 15.433461991269432 15.6341806549853 15.940409021553066
15.978745540271602 16.316944959249668 16.1202934979589
16.267811115484133 16.28796354151063 15.943366712392168
16.161318023020367 16.233673637818868 16.198680743354732
16.262574257016833 16.000561070665867 15.748091422784933
16.137991005794266 16.155622270687967 16.4173803504209
16.770310245935 16.725378846898366
117 ] ## cenários de consumo, em MWh
118
119 solarc = [
120 3.36187040231235 3.45023554675274 3.44989363664648
3.5259007292574 3.52555881915115 3.41182591826794
3.45469862676181 3.48210918629243 3.43543537458607
3.38439970357088 3.4604067961818 3.25693904463157
3.09162541536133 3.09128350525507 3.33418699232653
3.35780574912724 3.29185038206065 3.427972445581
3.22450469403077 3.27905573353848
121 3.07081110849387 3.15309557863904 3.06544927242642
2.90013564315618 2.73482201388594 3.06875401619829
3.16545887826886 3.08853838324736 2.92322475397713
2.79474279224436 2.88310793668475 2.90632198162589
3.06526907883788 2.95153617795467 2.84217331704473
2.85621203422935 2.76856572801672 3.01146921508818
3.09976974145366 3.17577683406458
122 3.36187040231235 3.27079254692096 3.20483717985436
3.09110427897115 3.09554169627843 3.01862120125693
3.13652661107084 3.02279371018763 2.95438953600758
2.9780082928083 2.82497766435734 2.62150991280711
2.70379438295228 2.53848075368204 2.4492136257742
2.35813577038281 2.41786162657766 2.49386871918858
2.44283304817338 2.32910014729017
123 2.93867127209216 2.7856406436412 2.79967936082582
2.88804450526621 2.88881719837434 2.82313384166983
2.75472966748977 2.57968776981258 2.47032490890264

```

	2.5588232442111	2.47887744208693	2.36514454120372
	2.30712812795647	2.23020763293498	2.32691249500555
	2.50517749198135	2.59347801834683	2.72960008186719
	2.67057689163908	2.60217271745903	
124	2.91118499577283	3.08603540101386	3.0393615893075
	2.92562868842429	3.09822139946713	3.12184015626784
	3.18156601246269	3.23611705197039	3.08308642351944
	3.26135142049525	3.33735851310617	3.51220891834719
	3.461173247332	3.39548989062748	3.34881607892113
	3.19578545047017	3.28415059491056	3.11883696564033
	3.14624752517094	3.22853199531611	
125	3.27084188707146	3.2940559320126	3.14102530356164
	2.93755755201142	3.03574123941913	2.98906742771277
	2.99350484502005	3.00754356220467	3.10572724961238
	2.99199434872917	2.8635123869964	3.19744438930875
	3.33356645282911	3.33433914593723	3.42263967230271
	3.30588626807554	3.16690256933502	3.50083457164737
	3.42391407662588	3.36589766337862	
126	3.05534895953062	3.10989999903832	3.44383200135067
	3.53219714579106	3.70704755103208	3.7210862682167
	3.72552368552398	3.68792299265918	3.71113703760032
	3.79950218204071	3.70498214405172	3.58822873982456
	3.70613414963847	3.94903763670992	3.88308226964332
	3.88385496275145	3.80390916062728	3.69454629971734
	3.62614212553729	3.51240922465408	
127	3.36187040231235	3.2934662281323	3.18410336722236
	3.12508017699426	3.17963121650196	3.12161480325471
	3.04166900113054	3.37560100344289	3.5538660004187
	3.55830341772597	3.61285445723368	3.65572716572755
	3.68313772525816	3.76542219540333	3.86360588281104
	3.7743387549032	3.68669244869058	3.8615428539316
	3.88895341346222	3.79968628555438	
128	3.12612208740771	3.18584794360256	3.13917413189621
	3.22767246720466	3.05263056952747	3.00159489851227
	2.93591154180776	3.05381695162167	2.99580053837442
	3.07180763098534	2.99186182886117	2.99263452196929
	2.90336739406145	2.95635025537584	2.86870394916322
	3.04355435440424	3.04432704751237	2.97592287333232
	3.00333343286293	3.01737215004755	
129	3.08092126131439	3.23986835852637	3.12613545764317
	3.24404086745707	3.13467800654713	3.04015796855815
	3.03981605845189	2.90083235971137	2.99901604711908
	2.94099963387183	2.85173250596399	3.18566450827633
	3.28384819568405	3.28828561299132	3.0848178614411
	3.0078973664196	3.03530792595022	3.17142998947057
	3.22598102897828	3.18838033611348	
130	3.11630354444039	3.35920703151185	3.2908028573318
	3.3453538968395	3.23599103592956	3.37211309944992
	3.37288579255804	3.29296234952006	3.29262043941381
	3.29705785672108	3.23137450001657	3.13685446202758
	3.13762715513571	3.16503771466632	3.2533382410318
	3.42818864627283	3.60078135731566	3.64365406580953

	3.58463087558143	3.75948128082246	
131	3.27084188707146	3.18157475916361	3.29948016897752
	3.24250646225369	3.18449004900644	3.24421590520129
	3.09118527675033	3.11439932169147	3.29266431866728
	3.23464790542003	3.16869253835343	3.04021057662067
	3.13691543869124	3.2191999088364	3.29520700144732
	3.34818986276171	3.52078257380454	3.56365528229842
	3.68156069211233	3.61560532504573	
132	2.96992198675275	3.05828713119314	3.23313753643417
	3.24717625361878	3.1672528105808	3.26395767265137
	3.17631136643875	3.00126946876155	3.08956999512703
	3.22569205864738	3.28024309815509	3.1891652427637
	3.43206872983515	3.4552827747763	3.28996914550606
	3.46823414248186	3.30292051321163	3.23696514614503
	3.37308720966538	3.46138773603086	
133	2.89945643826723	2.81018931035939	2.75217289711214
	2.77958345664275	2.72854778562756	2.67751211461236
	2.8501048256552	2.93846997009559	2.8473921147042
	2.94557580211191	3.03387632847739	3.061286888008
	2.9953315209414	2.92937615387481	2.77634552542385
	2.89425093523776	2.80660462902514	2.90478831643285
	2.84285932711531	2.76291352499115	
134	3.10394549261092	3.03826213590641	3.21085484694924
	3.28686193956016	3.33984480087455	3.18681417242359
	3.28499785983131	3.23832404812495	3.19165023641859
	3.19130832631234	3.09678828832335	3.09644637821709
	3.00192634022811	3.24482982729956	3.16790933227807
	3.07338929428908	3.13311515048393	3.30796555572496
	3.13292365804776	2.99393995930724	
135	2.9619830329334	2.89357885875335	3.02970092227371
	3.12640578434428	3.03188574635529	2.97386933310804
	2.92283366209284	2.92360635520097	2.82908631721198
	2.77106990396473	2.77072799385847	2.71375428713464
	2.81045914920521	2.82449786638983	2.71513500547989
	2.76811786679428	2.70243451008976	2.70320720319789
	2.62326140107372	2.4842777023332	
136	3.18688549721198	3.12886908396473	3.12852717385848
	3.3033775790995	3.16439388035898	3.10246489104145
	3.27731529628247	3.33029815759686	3.25337766257537
	3.14401480166543	3.17142536119605	3.07690532320706
	3.09094404039168	3.26920903736748	3.17813118197609
	3.20134522691724	3.37619563215826	3.21088200288802
	3.14247782870797	3.00349412996745	
137	3.08092126131439	2.99327495510177	2.87954205421856
	2.90316081101927	3.23709281333162	3.17806962310352
	3.23105248441791	3.25846304394852	3.16738518855713
	3.08743938643296	2.95895742470019	3.00183013319407
	2.88809723231086	2.94108009362525	2.94073818351899
	3.07686024703935	2.94837828530658	2.9624170024912
	2.89673364578668	2.97901811593185	
138	2.89945643826723	2.78572353738402	2.95831624842686
	2.81933254968633	2.97827964689832	2.90135915187683

	2.96108500807168	2.91004933705648	2.93366809385719
	2.88699428215084	2.98517796955855	3.02805067805242
	3.27095416512388	3.20527080841937	3.21930952560398
	3.21896761549773	3.13904417245974	3.47297617477209
	3.80690817708444	3.83052693388515	
139	2.85289650232281	2.76525019611018	2.61221956765923
	2.7089244297298	2.79742276503825	2.85040562635264
	3.0933091134241	3.02490493924405	3.10091203185497
	3.03495666478837	2.9064747030556	2.8688740101908
	2.69383211251361	2.63190312319607	2.45686122551888
	2.36578337012749	2.50190543364784	2.50267812675597
	2.34964749830502	2.46755290811892	
140	3.11022287014517	2.993469465918	3.06947655852892
	3.11234926702279	3.15522197551667	3.31416907272865
	3.19741566850149	3.02237377082429	2.89389180909152
	2.89466450219965	2.8366480889524	2.86405864848301
	3.00018071200337	2.99983880189711	2.86085510315659
	2.74712220227338	2.83548734671377	2.76953197964718
	2.71151556639993	2.84763762992028	
141	3.14584380981391	3.18871651830778	3.24844237450263
	3.30816823069748	3.17968626896471	3.11373090189812
	3.20222923720657	3.03691560793633	3.1192000780815
	3.03927663504352	2.92252323081635	3.0586452943367
	3.08605585386732	2.97669299295738	3.11281505647774
	2.9475014272075	2.8884782369794	3.06107094802223
	2.97342464180961	3.21632812888106	
142	2.89945643826723	3.07204914931007	2.89700725163287
	2.69353950008264	2.65593880721784	2.66037622452512
	2.60135303429702	2.5356696775925	2.54970839477712
	2.57292243971826	2.43393874097774	2.5224370762862
	2.61093541159465	2.49720251071144	2.33188888144121
	2.26593351437461	2.18601007133662	2.12698688110852
	2.36989036817998	2.46807405558769	
143	3.02871109310813	3.12689478051584	2.98791108177532
	3.07627622621571	3.00787205203566	3.05074476052953
	3.38467676284188	3.30473096071771	3.34760366921158
	3.28567467989405	3.16892127566688	3.2671049630746
	3.20142160637008	3.08768870548687	3.088461398595
	3.01154090357351	2.97394021070871	3.09184562052261
	3.09261831363074	3.03359512340264	
144	3.08766425619485	3.01074376117336	2.95172057094525
	2.85720053295627	2.80022682623243	2.93634888975279
	2.99607474594764	2.90499689055625	2.85832307884989
	2.8819418356506	2.83526802394425	2.83492611383799
	2.72556325292805	2.73960197011267	2.70200127724787
	2.88026627422368	3.01638833774403	3.1130931998146
	3.21127688722231	3.13133108509814	
145	3.11643673530846	3.05741354508035	3.10028625357423
	3.15483729308193	3.04110439219872	3.13780925426929
	3.06940508008924	3.01243137336541	2.93551087834392
	2.87853717162008	2.93152003293447	3.09046713014646
	3.11787768967707	2.94283579199988	2.96604983694102

	2.90907613021719	2.99757446552564	2.93855127529754
	2.85862783225956	2.71964413351904	
146	2.9619830329334	2.98560178973412	2.93456611871892
	2.87759241199509	2.88202982930237	3.12493331637382
	3.29752602741665	3.2971841173104	3.2595834244456
	3.22198273158079	3.22642014888807	3.31491848419653
	3.25589529396843	3.16137525597944	3.18499401278015
	3.0319633843292	2.89297968558867	2.81605919056718
	2.75413020124965	2.60109957279869	
147	3.14584380981391	3.00686011107339	2.94988640434955
	2.88393103728295	2.82490784705485	2.75895247998825
	2.76338989729553	2.78700865409625	3.12094065640859
	3.0440201613871	2.89098953293615	2.79646949494716
	2.68273659406395	2.86100159103976	2.76992373564836
	2.6531703314212	2.78929239494155	2.62397876567132
	2.55557459149127	2.57919334829198	
148	2.95953422581995	2.87188791960733	2.78262079169948
	2.72460437845223	2.75201493798285	2.77942549751346
	2.66569259663025	2.62809190376545	2.72479676583602
	2.77777962715041	2.57431187560018	2.46057897471697
	2.55728383678754	2.44355093590433	2.68645442297579
	2.62948071625196	2.57146430300471	2.36799655145448
	2.28805074933031	2.17868788842037	
149	2.94799259787583	2.94765068776958	2.78233705849934
	2.64335335975881	2.66656740469996	2.53808544296719
	2.56549600249781	2.39045410482061	2.46646119743153
	2.63905390847437	2.46401201079717	2.39560783661712
	2.57387283359293	2.6167455420868	2.67129658159451
	2.68533529877912	2.86018570402015	2.88759626355076
	2.94057912486515	2.90297843200035	
150	2.93341836201101	2.8196854611278	2.87423650063551
	2.97242018804322	3.02540304935761	2.94848255433612
	2.80949885559559	2.83311761239631	2.76716224532971
	2.84316933794063	2.7861956312168	2.8407466707245
	2.7817234804964	2.78249617360452	2.66876327272131
	2.58883982968333	2.42352620041309	2.43756491759771
	2.37563592828018	2.70956793059252	
151	2.97096469327617	3.03069054947102	2.94304424325839
	3.1213092402342	3.04138579719622	3.09436865851061
	3.26921906375163	3.21120265050438	3.37014974771637
	3.16668199616614	3.12908130330134	3.00059934156857
	2.83528571229833	2.7733567229808	2.89126213279471
	2.94581317230241	2.8320802714192	2.90808736403012
	2.83116686900863	2.76521150194203	
152	2.93867127209216	2.95270998927678	2.84334712836684
	2.84300521826058	3.01785562350161	3.04526618303222
	2.99859237132587	2.96099167846106	3.29492368077341
	3.62885568308576	3.56983249285766	3.74468289809868
	3.74912031540596	3.65804246001457	3.60106875329074
	3.55003308227554	3.46238677606292	3.37474046985029
	3.30905711314578	3.25208340642195	

153	3.12612208740771	2.98713838866719	3.06942285881236
	3.00749386949482	2.87901190776206	2.75052994602929
	2.54706219447906	2.64376705654963	2.57536288236958
	2.73430997958156	2.66862662287705	2.6682847127708
	2.84313511801182	2.84390781111995	2.73017491023674
	2.61342150600957	2.43837960833238	2.52668013469786
	2.58640599089271	2.49188595290372	
154	2.98126458829364	2.91558123158913	2.83866073656764
	2.7493936086598	2.68098943447975	2.62401572775591
	2.86691921482737	3.10982270189883	3.19832103720728
	3.25130389852167	3.1228219367889	3.12359462989703
	3.01423176898709	3.06878280849479	3.01076639524754
	2.95174320501944	2.89272001479134	2.98942487686191
	2.78595712531168	2.88266198738225	
155	3.02871109310813	2.96030691892808	3.11925401614006
	3.03933057310208	3.12763109946755	3.0592269252875
	3.1475920697279	3.23589259609337	3.2366652892015
	3.1776420989734	3.17730018886714	3.26566533330753
	3.15630247239759	3.2108535119053	3.34697557542565
	3.14350782387542	3.1479452411827	3.23624576754818
	3.17431677823065	3.02128614977969	
156	2.91118499577283	2.78270303404007	2.68818299605108
	2.57445009516787	2.4576966909407	2.53998116108587
	2.48196474783862	2.36521134361145	2.27756503739883
	2.11225140812859	2.03232796509061	2.12082630039906
	2.27977339761105	2.33275625892544	2.37562896741931
	2.29568316529514	2.25808247243034	2.26251988973762
	2.44078488671342	2.40318419384862	
157	3.18688549721198	3.2850691846197	3.20512338249553
	3.20478147238927	3.22799551733042	3.30400260994134
	3.3862870800865	3.27255417920329	3.2065988121367
	3.44950229920815	3.45393971651543	3.78787171882778
	3.74119790712142	3.75523662430604	3.84353715067151
	3.76661665565002	3.7710540729573	3.79467282975801
	3.70359497436662	3.58684157013946	
158	2.93686054460861	2.85994004958712	2.78301955456562
	2.61770592529539	2.69999039544055	2.61234408922793
	2.78719449446895	2.86320158707987	2.88641563202102
	2.98312049409159	2.93208482307639	2.89448413021159
	2.95420998640644	2.90317431539124	2.80865427740226
	2.72873083436427	2.78845669055912	2.65997472882636
	2.60095153859825	2.60538895590553	
159	3.11623892636548	3.45017092867782	3.47338497361897
	3.55566944376413	3.46802313755151	3.58592854736542
	3.52791213411817	3.36259850484793	3.29419433066788
	3.34717719198227	3.30957649911746	3.22030937120962
	3.01684161965939	3.1951066166352	3.52903861894755
	3.55644917847817	3.55722187158629	3.40419124313534
	3.42740528807648	3.50968975822165	
160	2.94801495696202	2.94878765007014	2.88038347589009
	2.96266794603526	2.90465153278801	2.9930166772284
	3.16560938827123	3.12800869540643	2.99952673367366

	3.08789187811405	3.08866457122218	3.08943726433031
	3.11265130927145	2.99891840838824	2.88216500416108
	2.80224156112309	2.7111637057317	2.6521405155036
	2.72814760811452	2.52467985656429	
161	3.18688549721198	3.10693969508782	3.05590402407262
	3.29880751114408	3.29846560103782	3.54136908810928
	3.70031618532126	3.63436081825466	3.79330791546665
	3.70223006007526	3.76195591627011	3.69600054920351
	3.57924714497634	3.52227343825251	3.65839550177287
	3.68580606130348	3.6998447784881	3.65317096678174
	3.67678972358245	3.6187733103352	
162	3.12464326207057	3.16751597056444	3.26569965797216
	3.12671595923163	3.46064796154398	3.63549836678501
	3.57852466006117	3.75111737110401	3.67419687608251
	3.61517368585441	3.56849987414806	3.70462193766841
	3.59525907675847	3.68375741206693	3.62678370534309
	3.48780000660257	3.34881630786205	3.25954917995421
	3.34784970631968	3.3714684631204	
163	2.93341836201101	3.05132377182492	2.93457036759775
	2.93900778490503	3.0212922550502	2.9553368879836
	3.05204175005417	3.18816381357452	3.21557437310514
	3.33347978291905	3.13001203136882	3.13078472447695
	3.01403132024978	3.01846873755706	2.96045232430981
	3.00332503280368	2.88657162857651	2.97487215494199
	3.0730558423497	3.01112685303217	
164	2.9619830329334	3.01496589424779	2.9639302232326
	2.96470291634072	2.90567972611262	2.8180334199
	2.99288382514102	2.94184815412583	2.94262084723396
	2.82586744300679	2.9437728528207	3.0616782626346
	2.98475776761311	2.89711146140049	2.81716565927632
	2.77956496641152	2.80318372321223	2.75650991150588
	2.66886360529325	2.61782793427806	
165	3.02759648989374	2.89911452816098	3.01701993797489
	3.19528493495069	3.25501079114554	3.19598760091744
	3.27827207106261	3.30148611600375	3.1484554875528
	3.03909262664286	2.87377899737262	2.80809564066811
	2.83171439746882	2.89144025366367	2.97980539810406
	2.88528536011507	2.93826822142946	3.18117170850092
	3.20479046530163	3.11552333739379	
166	3.20620339697581	3.05317276852485	2.9001421400739
	2.91418085725851	2.86750704555216	2.77986073933953
	2.95471114458056	2.89773743785673	3.23166944016907
	3.15172363804491	3.23400810819007	3.25762686499079
	3.19194350828627	3.09742347029728	3.03549448097975
	3.13219934305032	3.07418292980307	3.00849957309856
	3.16744667031054	3.25574719667602	
167	3.05115244494114	3.22941744191695	3.23385485922423
	3.2767275677181	3.21770437749	3.29371147010092
	3.31733022690164	3.22281018891265	3.11344732800271
	3.04749196093611	3.38142396324846	3.26467055902129
	3.09935692975105	2.98562402886784	2.98528211876159
	2.9993208359462	2.90480079795722	3.0637478951692

```

3.12347375136405 3.05779039465954
168 2.85289650232281 2.76362937441496 2.62464567567444
    2.49616371394167 2.51020243112629 2.84413443343864
    2.92641890358381 2.83534104819241 2.70685908645965
    2.73047784326036 2.81877836962584 2.75037419544579
    2.68469083874127 2.57532797783133 2.71145004135169
    3.04538204366404 3.08825475215791 3.18643843956562
    3.36470343654143 3.22571973780091
169 3.11643673530846 3.14384729483907 3.24203098224678
    3.15095312685539 3.21067898305024 3.14499562634573
    3.17240618587634 3.24841327848726 3.26245199567188
    3.35075252203736 3.3504106119311 3.50935770914309
    3.44340234207649 3.4708129016071 3.64340561264994
    3.7256900827951 3.57265945434415 3.52598564263779
    3.46003027557119 3.48324432051234
170 3.14584380981391 3.14661650292203 3.23511483823049
    3.4133798352063 3.41303792510004 3.26000729664909
    3.43260000769192 3.50860710030284 3.52264581748746
    3.53668453467207 3.47971082794824 3.81364283026059
    3.73371938722261 3.81600385736777 3.75004849030117
    3.80459952980888 3.73891617310436 3.82728131754476
    3.8504953624859 3.78481200578139
171 2.95953422581995 2.78449232814276 2.8077063730839
    2.94382843660425 2.81534647487149 2.87507233106634
    2.7858052031585 2.80942395995921 2.82346267714383
    2.83750139432844 2.77181803762393 2.65808513674072
    2.61141132503436 2.61106941492811 2.68707650753903
    2.61867233335898 2.79693733033479 2.87922180047995
    2.81353844377544 3.0564419308469
172 ] ## cenários de geração fotovoltaica, em MWh
173
174 struct Contrato
175     custo::Float64 # Custo por MWh
176     carga::Float64 # máximo de energia fornecido por semana em MWh
177 end
178
179 dimensoes = size(cargasc)
180 num_series = dimensoes[2] #Número de cenários
181 num_semanas = dimensoes[1] # Número de semanas
182
183 potencia1 = 71.4285 #Potencia máxima a ser fornecida por semana do
    contrato 1, em KW
184 potencia2 = 89.2852 #Potencia máxima a ser fornecida por semana do
    contrato 2, em KW
185 potencia3 = 95.2381 #Potencia máxima a ser fornecida por semana do
    contrato 3, em KW
186
187 contrato1 = Contrato(115.19, potencia1*24*7/1000) #struct auxiliar
    para denotar a energia total fornecida por semana
188 contrato2 = Contrato(114.00, potencia2*24*7/1000)
189 contrato3 = Contrato(112.00, potencia3*24*7/1000)
190

```

```

191 contratos = [contrato1, contrato2, contrato3]
192
193 ncontratos = length(contratos)
194
195 model = Model(Gurobi.Optimizer)
196
197 qc = num_series
198 alfa = 1/qc
199 gama = 0.95
200 beta = 3.1
201
202 @variable(model, n[s= 1:qc] >= 0) ## variável auxiliar
203 @variable(model, var) ## value at risk
204 @variable(model, beg[c=1:ncontratos], Bin) ## variável binária
    para denotar escolha de um contrato
205 @variable(model, 0 <= Eg[c=1:ncontratos] <= contratos[c].carga) ##
    compra de energia advinda de contratos
206 @variable(model, bec[t=1:num_semanas, s=1:qc], Bin) ## variável
    binária para indicar compra de energia no MCP
207 @variable(model, bev[t=1:num_semanas, s=1:qc], Bin) ## variável
    binária para indicar venda de energia no MCP
208 @variable(model, 0 <= Ec[t=1:num_semanas, s=1:qc]) ## compra de
    energia no mcp
209 @variable(model, 0 <= Ev[t=1:num_semanas, s=1:qc]) ## venda de
    energia no mcp
210 @expression(model, custo_t, sum(contratos[c].custo * Eg[c] for c
    in 1:ncontratos)*num_semanas
211     + alfa*(sum(Ec[t,s]*pldc[t,s] for t=1:num_semanas, s=1:qc))
212     - alfa*(sum(Ev[t,s]*pldc[t,s] for t=1:num_semanas,
        s=1:qc))) #Expressão para calcular o custo total
213 @expression(model, custo_contratos, sum(contratos[c].custo * Eg[c]
    for c in 1:ncontratos)*num_semanas) #Expressão para calcular o
    custo total dos contratos
214 @expression(model, compra_reais, (alfa*(sum(Ec[t,s]*pldc[t,s] for
    t=1:num_semanas, s=1:qc)))) #Expressão para calcular o custo
    total da compra no MCP
215 @expression(model, venda_reais, (alfa*(sum(Ev[t,s]*pldc[t,s] for
    t=1:num_semanas, s=1:qc)))) #Expressão para calcular o lucro
    total da venda no MCP
216 @expression(model, Cvar, var - (1/(1 - gama))*(sum(alfa*n[s] for
    s=1:qc))) ## expressão do Cvar
217
218 @objective(model, Min,
219     sum(contratos[c].custo * Eg[c] for c in
        1:ncontratos)*num_semanas +
220     alfa*sum(pldc[t,s]*(Ec[t,s] - Ev[t,s]) for t in
        1:num_semanas, s in 1:qc) - (beta/10)*Cvar) ## função
    objetivo para minimizar o custo esperado do consumidor
221
222 @constraint(model, [s in 1:qc, t in 1:num_semanas], sum(Eg[q] for
    q in 1:ncontratos) + Ec[t,s]*bec[t,s] - Ev[t,s]*bev[t,s] >=
    cargasc[t,s] - solarc[t,s]) ## restrição para garantir

```

```

    atendimento da carga
223 @constraint(model, [t=1:num_semanas, s=1:qc], bec[t,s] + bev[t,s]
    <= 1) ##restrição para só permitir compra ou venda no mcp em um
    mesmo período
224 @constraint(model, [c=1:ncontratos], Eg[c] ==
    contratos[c].carga*beg[c]) ## restrição adicional para garantir
    que o consumidor irá pegar o valor cheio do contrato
225 @constraint(model, 1 <= sum(beg[c] for c in 1:ncontratos) <=
    ncontratos) ## restrição que garante que o consumidor irá
    escolher pelo menos um contrato
226 @constraint(model, [t=1:num_semanas, s=1:qc], Ec[t,s] ==
    Ec[t,s]*bec[t,s]) ## restrição redundante para garantir que o
    valor de compra no mcp será zerado de acordo com sua variável
    binária correspondente
227 @constraint(model, [t=1:num_semanas, s=1:qc], Ev[t,s] ==
    Ev[t,s]*bev[t,s]) ## restrição redundante para garantir que o
    valor de venda no mcp será zerado de acordo com sua variável
    binária correspondente
228 @constraint(model, [s in 1:qc], (var - sum(contratos[c].custo *
    Eg[c] for c in 1:ncontratos)*num_semanas +
229     sum(pldc[t,s]*(Ec[t,s] - Ev[t,s]) for t in 1:num_semanas)
    <= n[s])) ## restrição de cenários a serem evitados
230
231 optimize!(model)

```

A.2 Código em Julia para gerar um vetor de 52 elementos aleatórios em torno de um valor central

Código A.2 – Código em Julia

```

1 # Criar um vetor com 52 elementos, todos iguais a 14.575
2 consumo_medio = fill(14.575, 52) #valor médio de consumo
    residencial coletado no site da EPE vezes 312 apartamentos
3 #white noise
4 fator_variacao = 5 #parâmetro de variação para cada termo
    individual
5 persistencia = 0.2 #parâmetro de variação entre cada termo
6 white_noise = fator_variacao * randn(52) # Gerar white noise
7 consumo_com_ruido = consumo_medio .+ cumsum(white_noise) .-
    persistencia .* white_noise

```

A.3 Código em Julia para ler os dados sintetizados em R

Código A.3 – Código em Julia


```

1 caminho_do_arquivo1 = "C:/..."
2 df1 = CSV.File(caminho_do_arquivo1, header=false) |> DataFrame
3 cargasc1 = Matrix(df1) ## 20 cenários de consumo semanal, em MWh
4 cargasc1 = cargasc1

```

A.4 Código em R para gerar 20 séries temporais de valores de consumo

Código A.4 – Código em R

```

1 library(forecast)
2
3 # Definir parâmetros
4 series <- 20 #número de séries sintéticas a serem produzidas
5 periodo <- 52 #número de períodos dentro de cada séries temporal
6 fator_variacao <- 1 #parâmetro que ajusta a variação de cada novo
   elemento de cada série temporal
7
8 # Criar série temporal original
9 carga = c(14.77623, 15.35326, 15.72673, 16.12756,
10           16.37054, 16.42770, 16.28887, 16.25169,
11           15.88780, 15.64452, 15.85169, 16.39350,
12           16.59063, 16.67657, 16.43202, 16.65212,
13           16.99312, 16.85568, 16.63361, 16.72249,
14           16.95629, 17.49769, 17.57814, 17.80991,
15           17.84958, 17.65763, 17.38548, 17.39066,
16           17.42894, 17.42501, 17.40950, 16.86776,
17           16.43699, 16.29675, 16.40240, 15.85105,
18           15.65484, 15.47585, 15.25992, 14.88090,
19           14.85467, 15.24833, 15.70214, 15.92750,
20           15.72328, 15.76530, 15.64364, 15.71072,
21           16.07388, 16.18273, 16.02518, 15.47839) # MWh
22 cargas <- ts(carga, start = 1, frequency = 1) #criar série temporal
23 plot(cargas)
24
25 model <- auto.arima(cargas, D = 1) #criar o modelo auto regressivo
26
27 # Gerar séries sintéticas
28 forecast.new <- matrix(NA, nrow = periodo, ncol = series) # criar
   um vetor vazio para conter as series temporais
29
30 for (s in 1:periodo) {
31   simulated_residuals <- cumsum(fator_variacao *
   sample(model$residuals, size = series, replace = TRUE))
32   simulated_series <- tail(cargas, 1)[[1]] + simulated_residuals
33   forecast.new[s, ] <- simulated_series
34 } # criando as novas séries a partir da diferença residual entre a
   série original e as séries consequintes

```

```

35
36 # Plotar as séries simuladas
37 matplot(forecast.new, type = "l", col = "lightgray", lty = 1, lwd
      = 1, xlab = "Período (Semanas)", ylab = "Valor (MWh)", main =
      "Simulações de Séries Temporais", ylim = c(12, 20))
38 lines(cargas, col = "blue", lty = 2, lwd = 2) # Linha da série
      original
39 legend("topright", legend = c("Série Original", "Simulações"), col
      = c("blue", "lightgray"), lty = c(2, 1), lwd = c(2, 1))
40
41 # Especificar o caminho absoluto para o arquivo CSV
42 caminho_do_arquivo <- "C:/..."
43
44 # Salvar os dados em um arquivo CSV
45 #write.table(forecast.new, file = "cargas_sinteticas.csv", sep =
      ",", row.names = FALSE, col.names = FALSE)

```

A.5 Código em R para gerar 20 séries temporais de valores de PLD

Código A.5 – Código em R

```

1 library(forecast)
2
3 # Definir parâmetros
4 series <- 20 #número de séries sintéticas a serem produzidas
5 periodo <- 52 #número de períodos dentro de cada séries temporal
6 fator_variacao <- 0.5 #parâmetro que ajusta a variação de cada
      novo elemento de cada série temporal
7
8 # Criar série temporal original
9 pld = c(69.7, 57.09, 62.1, 65.82,
10        55.7, 55.7, 55.7, 55.7,
11        55.7, 55.7, 55.7, 55.7,
12        55.7, 55.7, 55.7, 55.7,
13        55.7, 55.7, 55.7, 55.7,
14        55.7, 55.7, 55.76, 55.7,
15        55.7, 55.7, 55.17, 59,
16        68.82, 71.35, 110.92, 91.03,
17        69.36, 56.26, 59.93, 55.7,
18        55.7, 55.7, 55.7, 55.7,
19        55.7, 55.7, 55.7, 55.7,
20        55.7, 55.7, 55.7, 55.7,
21        55.7, 55.7, 55.7, 55.7) #R$/MWh
22 plds <- ts(pld, start = 1, frequency = 1) #criar série temporal
23 plot(plds)
24
25 model <- auto.arima(plds, D = 1) #criar o modelo auto regressivo
26

```

```

27 model <- auto.arima(plds, d = 1, D = 1, max.p = 12, max.q = 12,
28                     max.P = 1, max.Q = 26, max.order = 26, max.d =
29                     2,
30                     max.D = 2, start.p = 26, start.q = 26, start.P
31                     = 1,
32                     start.Q = 1, stationary = FALSE, seasonal =
33                     TRUE,
34                     ic = c("aicc", "aic", "bic"), stepwise = TRUE,
35                     trace = FALSE, approximation = (length(x) > 52
36                     | frequency(x) > 12),
37                     x = NULL) # ajustar os parâmetros
38                               estacionários e sazonais do modelo
39
40 # Gerar séries sintéticas
41 forecast.new <- matrix(NA, nrow = periodo, ncol = series) # criar
42   um vetor vazio para conter as series temporais
43
44 for (s in 1:periodo) {
45   simulated_residuals <- cumsum(fator_variacao *
46     sample(model$residuals, size = series, replace = TRUE))
47   simulated_series <- tail(plds, 1)[[1]] + simulated_residuals
48   forecast.new[s, ] <- simulated_series
49 } # criando as novas séries a partir da diferença residual entre a
50   série original e as séries consequintes
51
52 # Plotar as séries simuladas
53 matplot(forecast.new, type = "l", col = "lightgray", lty = 1, lwd
54         = 1, xlab = "Período (Semanas)", ylab = "Valor (R$/MWh)", main
55         = "Simulações de Séries Temporais", ylim = c(30, 110))
56 lines(plds, col = "blue", lty = 2, lwd = 2) # Linha da série
57   original
58 legend("topleft", legend = c("Série Original", "Simulações"), col
59       = c("blue", "lightgray"), lty = c(2, 1), lwd = c(2, 1))
60
61 # Especificar o caminho absoluto para o arquivo CSV
62 caminho_do_arquivo <- "C:/..."
63
64 # Salvar os dados em um arquivo CSV
65 #write.table(forecast.new, file = "precos_sinteticos.csv", sep =
66   ",", row.names = FALSE, col.names = FALSE)

```

A.6 Código em R para gerar 20 séries temporais de valores de geração fotovoltaica

Código A.6 – Código em R

```

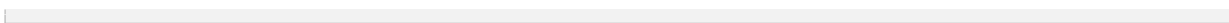
1 library(forecast)
2
3 # Definir parâmetros

```

```

4 series <- 20 #número de séries sintéticas a serem produzidas
5 periodo <- 52 #número de períodos dentro de cada séries temporal
6 fator_variacao <- 0.4 #parâmetro que ajusta a variação de cada
  novo elemento de cada série temporal
7
8 # Criar série temporal original
9 solar = c(2.772360, 2.357715, 2.371424, 2.871360, 2.595600,
  2.677546, 2.502274, 3.063614, 2.724120, 2.457115, 2.732803,
  2.774506, 2.606760,
10      2.629642, 2.791123, 2.534674, 2.518200, 2.328509,
  2.541413, 2.773642, 2.301480, 2.150539, 2.130552,
  2.092838, 2.500200, 2.401517,
11      2.340274, 2.383805, 2.865974, 2.659507, 2.535437,
  2.640197, 2.880000, 3.427469, 2.891189, 3.114691,
  2.718720, 2.448475, 2.333189,
12      2.673029, 2.824560, 2.838888, 3.012062, 2.644632,
  2.645640, 2.674886, 2.529518, 2.476973, 2.759040,
  2.897755, 2.777026, 3.027938)
13
14 solars <- ts(solar, start = 1, frequency = 1) #criar série temporal
15 plot(solars)
16
17 model <- auto.arima(solars, D = 1) #criar o modelo auto regressivo
18
19 # Gerar séries sintéticas
20 forecast.new <- matrix(NA, nrow = periodo, ncol = series) # criar
  um vetor vazio para conter as series temporais
21
22 for (s in 1:periodo) {
23   simulated_residuals <- cumsum(fator_variacao *
  sample(model$residuals, size = series, replace = TRUE))
24   simulated_series <- tail(solars, 1)[[1]] + simulated_residuals
25   forecast.new[s, ] <- simulated_series
26 } # criando as novas séries a partir da diferença residual entre a
  série original e as séries consequintes
27
28 # Plotar as séries simuladas
29 matplot(forecast.new, type = "l", col = "lightgray", lty = 1, lwd
  = 1, xlab = "Período (Semanas)", ylab = "Geração fotovoltaica
  (MWh)", main = "Simulações de Séries Temporais", ylim = c(1.5,
  5))
30 lines(solars, col = "blue", lty = 2, lwd = 2) # Linha da série
  original
31 legend("topright", legend = c("Série Original", "Simulações"), col
  = c("blue", "lightgray"), lty = c(2, 1), lwd = c(2, 1))
32
33 # Especificar o caminho absoluto para o arquivo CSV
34 #caminho_do_arquivo <- "C:/..."
35
36 # Salvar os dados em um arquivo CSV
37 #write.table(forecast.new, file = "solar_sinteticos.csv", sep =
  ",", row.names = FALSE, col.names = FALSE)

```



Anexos