



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Química
EQ950 A – Trabalho de Conclusão de
Curso



Trabalho de Conclusão de Curso

“Avaliação para instalação de placas fotovoltaicas em prédios administrativos da Solvay Paulínia.”

Alunos

Pedro Alexandre Martins Louvison RA 175622

Renan Silva de Jesus Libório RA 176598

Supervisor: Raphael Soeiro Suppino

Campinas – SP
Julho de 2020

Sumário

Lista de Figuras.....	4
Lista de Tabelas	6
Lista de Abreviações	7
Agradecimento	9
RESUMO.....	10
1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Contextualização.....	11
1.2. Oportunidades e uso no dia-a-dia de um engenheiro químico	11
2. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivos Gerais.....	12
2.2. Objetivos Específicos	12
3. REVISÃO TEÓRICA.....	13
3.1. Panorama de energias renováveis no Brasil e no Mundo	13
3.2. Geração de energia solar no mundo	14
3.3. Geração de energia solar no Brasil	16
3.4. Geração distribuída.....	17
3.5. Mercado Livre de Energia e Autoprodução	19
3.6. Formação de preços de energia	24
3.7. Funcionamento de um aparato solar.....	28
3.8. Montagem de um aparato solar	30
3.9. Importância da orientação e do sombreamento em placas nas instalações em telhados	34
4. METODOLOGIA.....	36
4.1. Coleta de dados.....	36

4.2. Equações utilizadas para o PVSYST e balanço financeiro.....	38
5. RESULTADOS	41
5.1. Análise da Simulação do Pvsyst.....	41
5.2. Comparativo entre o preço teórico e orçamento de uma empresa.	50
5.3. Análise econômica e ambiental	52
5.4. Oportunidades futuras para energia solar no Brasil.....	56
6. CONCLUSÃO.....	58
6.1. Conclusão sobre o projeto.....	58
6.2. Sugestão de melhoria no projeto.....	59
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
Anexos	67
A. TABELAS	67

Lista de Figuras

Figura 1. Matriz Energética de Produção de Energia Elétrica Mundial em 2017. Adaptado de IEA, 2019

Figura 2. Capacidade de geração de energia mundial por matrizes energéticas. Fonte: IEA, 2020.

Figura 3. Benefícios da Energia Solar no Brasil. Fonte: ABSOLAR, 2020.

Figura 4. Utilização de créditos de energia. Fonte: ANEEL, 2016.

Figura 5. Evolução de potência instalada (MW) no Brasil de geração distribuída por fonte desde 2012. Fonte: Miranda, 2019.

Figura 6. Condições de ingresso no mercado livre de energia. (Adaptado Lei 9074/1995)

Figura 7. Composição dos preços de energia no ACR e ACL. Fonte: Abraceel, 2016.

Figura 8. Tensão de distribuição por modalidade tarifária. Fonte: CMU Energia, 2020.

Figura 9. Economia das empresas no ACL. Fonte: Abraceel, 2016.

Figura 10. Ângulo de inclinação do módulo e ângulo de incidência solar. Fonte: Villalva, 2012.

Figura 11. Representação de um material semicondutor exposto à luz.

Fonte: Villalva, 2012

Figura 12. Insolação diária no Brasil. Fonte: Atlas de Energia Elétrica no Brasil, ANEEL, 2ª edição.

Figura 13. Benefícios da orientação norte para placas fotovoltaicas. Fonte: Villalva, 2012.

Figura 14. Orientação azimutal incorreta para a geração solar. Fonte: Villalva, 2012.

Figura 15. Inclinações dos módulos fotovoltaicos. Fonte: Villalva, 2012.

Figura 16. Energia solar diária captada com diversas inclinações. Fonte: Villalva, 2012.

Figura 17. Instalação inadequada de placa solar fotovoltaica. Fonte: Villalva, 2019.

Figura 18. Incidente em Campina Grande – PB ocasionado pela força do vento. Fonte: Villava, 2019.

Figura 19. Telhado 1 do Prédio Administrativo da Rhodia. Fonte: Google Earth, 2020.

Figura 20. Telhado 2 do Prédio Administrativo da Rhodia. Fonte: Google Earth, 2020.

Figura 21. Telhado 3 do Prédio Administrativo da Rhodia. Fonte: Google Earth, 2020.

Figura 22. Telhado 4 do Prédio Administrativo da Rhodia. Fonte: Google Earth, 2020.

Figura 23. Simulação de irradiação para orientação dos telhados 1 e 2. Fonte: PVSYST, 2020.

Figura 24. Simulação de irradiação para orientação contrária dos telhados 1 e 2. Fonte: PVSYST, 2020.

Figura 25. Simulação de irradiação para orientação do telhado 4. Fonte: PVSYST, 2020.

Figura 26. Simulação de irradiação para orientação contrária do telhado 4. Fonte: PVSYST, 2020.

Figura 27. PR para cada mês do ano. Fonte: Autoria Própria.

Figura 28. Produção de energia normalizada por mês. Fonte: Autoria própria.

Figura 29. Fator de capacidade da Usina de Itaipu. Fonte: Adaptado de Itaipu, 2020.

Figura 30. Preços para o cliente final de um projeto solar. Fonte: GREENER, 2020.

Figura 31. Módulos fotovoltaicos mais utilizados em instalações solares. Fonte: GREENER, 2020.

Figura 32. Inversores mais utilizados em instalações solares. Fonte: GREENER, 2020.

Figura 33. Composição da TUSD encargos, na qual está presente a parcela CDE.

Figura 34. Fluxo de Caixa Descontado. Fonte: Autoria Própria.

Lista de Tabelas

Tabela 1. Mercado Cativo x Mercado Livre. Fonte: CMU Energia, 2020.

Tabela 2. Perfis de consumos da Rhodia na planilha do Infomercado. Fonte: CCEE, 2020.

Tabela 3. Valor das tarifas para a modalidade tarifária A2. Fonte: Resolução Homologatória nº2.526, 2019

Tabela 4 – Eficiência de células fotovoltaicas. Fonte: Villalva, 2012.

Tabela 5. Parâmetros financeiros do projeto. Fonte: Autoria Própria.

Tabela 6. Estimativa de Consumo Predial. Fonte: Rhodia, 2020.

Tabela 7. Estimativa de consumo PDC. Fonte: Rhodia, 2020.

Tabela 8. Potência energética de geração por orientação. Fonte: Autoria Própria.

Tabela 9. Dimensão dos telhados selecionados para o estudo. Fonte: Autoria Própria.

Tabela 10. Fator de capacidade em função do grau de inclinação para os telhados 1 e 2. Fonte: Autoria Própria

Tabela 11. Fator de capacidade das Usinas brasileiras de Minas Gerais e São Paulo. Fonte: Adaptado do site da ONS (2020)

Tabela 12. Custo nivelado de Energia (LCOE). Fonte: Autoria Própria

Tabela 13. Estimativa de Variação no preço da energia elétrica. Fonte: Autoria Própria.

Tabela 14. Análise de sensibilidade de investimento. Fonte: Autoria Própria

Tabela 15. Parâmetros financeiros do projeto. Fonte: Autoria Própria.

Tabela 16. Emissão de CO₂ por fonte. Fonte: Amponsah et al. 2014

Tabela A.1. Consumo do Prédio Administrativo da Rhodia. Fonte: Rhodia, 2020.

Tabela A.2. Consumo do PDC da Rhodia. Fonte: Rhodia, 2020.

Tabela A.3. Fluxo de caixa real. Fonte: Autoria própria.

Tabela A.4. Fluxo de caixa para 10 anos de payback. Fonte: Autoria própria.

Lista de Abreviações

Abraceel - Associação Brasileira dos Consumidores de Energia Elétrica.

ACL - Ambiente de Contratação Livre.

ACR - Ambiente de Contratação Regulada.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica.

ARSESP - Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo.

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.

CDE – Conta de Desenvolvimento Energético.

CGH - Central Geradora Hidráulica.

CIGS – Cobre-Índio-Gálio-Selênio.

CNPJ - Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica.

COFINS - Contribuição para Financiamento da Seguridade Social.

CPF – Cadastro de Pessoa Física.

CPFL - Companhia Paulista de Força e Luz.

Efc – Eficiência.

EOL - Eólica.

FC – Fator de Capacidade

GW - Gigawatt.

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços.

kW - kilowatt.

kWh – kilowatt-hora.

kWp – kilowatt-pico.

LCOE – *Levelized Cost of Energy*.

MME – Ministério de Minas e Energia.

MW - Megawatt.

MWh – Mega watt-hora.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico.

PCH - Pequena Central Hidrelétrica.

PDC – *Private Data Center*.

PIS - Programa de Integração Social.

PLD - Preço da Liquidação das Diferenças.

PR – *Performance Ratio*

RAST – Rastreador solar de um eixo

SIN – Sistema Interligado Nacional

TIR – Taxa Interna de Retorno.

TMA – Taxa Mínima de Atratividade.

TUSD - Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição.

TUST - Tarifa do Uso do Sistema de Transmissão.

UC - Unidade Consumidora.

UFV -Usina fotovoltaica.

UTE - Usina termelétricas.

VPL – Valor Presente Líquido.

Wp – Watt-pico.

α – Ângulo de Inclinação do Pannel.

β – Ângulo de incidência do raio solar.

Y_s – Ângulo da altura solar.

Agradecimento

Primeiramente, gostaríamos de agradecer ao Aimar Domingues, funcionário da Rhodia, que foi mentor deste projeto entre a UNICAMP e a Rhodia, e nos deu plenas condições para a realização do trabalho. Quando foi encontrada alguma dificuldade, outros funcionários também foram acionados como o Ezio Musetti, que trouxe uma visão muito interessante de como se comportaria os preços de energia nos próximos anos, o que era uma grande dificuldade no trabalho.

Além deles, queremos parabenizar o professor Raphael Suppino, pela orientação por parte da UNICAMP, além da iniciativa da realização dessa parceria entre a instituição e uma grande empresa, como o Grupo Solvay.

Também gostaríamos de agradecer algumas pessoas externas à UNICAMP que nos fortaleceram tecnicamente para a produção do trabalho, sendo eles o Talles Bonato, que nos deu grande suporte para a realização do projeto no PVSYST, trazendo grande embasamento técnico nas questões solares. O Pedro Coletta, que também nos ajudou com questões técnicas e com o orçamento fornecido pela Solstício Energia. E o Henrique Mendrone, que pôde usar sua experiência no mercado livre, com o auxílio no entendimento das composições dos preços.

Além disso, não podemos nos esquecer dos nossos pais, amigos, entidades da faculdade e todos que participaram da nossa trajetória nesses últimos anos, sem vocês isso não seria possível.

RESUMO – O Brasil possui um enorme potencial de geração de energia solar fotovoltaica, embora a capacidade instalada de energia por essa fonte não figure entre as maiores do mundo, o crescimento da geração solar vem crescendo na última década, alavancado pela geração distribuída no país. Com esse aumento na procura por geração solar, diversas empresas e pessoas têm buscado a instalação de painéis como uma solução para a redução dos custos com energia. Assim, este estudo tem como objetivo mostrar qual o cenário da geração solar no país, além de avaliar a viabilidade de um projeto de instalação de placas fotovoltaicas nos prédios administrativos do site da Rhodia em Paulínia. Discutiu-se os parâmetros técnico-econômicos importantes em um projeto solar, considerando o perfil de consumo da empresa e as diversas soluções tomadas para o barateamento desse custo. O software PVSYST, amplamente utilizado para os projetos desse setor serviu de ferramenta para estimar a capacidade de geração solar nos telhados dos prédios analisados. Estimou-se um consumo energético médio anual para os prédios de cerca de 62 MWh/ano, a potência instalada nos telhados 1 e 2 de 27,36 kWp, a potência instalada nos telhados 3 e 4 de 13,68 kWp. Com base nas informações do Google Earth, uma área útil dos telhados 1 e 2 para instalação de 203,3 m² e de 109,3 m² para os telhados 3 e 4. Analisou-se a oscilação da eficiência ao longo do ano. Obteve-se um investimento para o projeto, segundo o PVSYST, de R\$ 148.564 e de R\$ 173.675. Avaliou-se o LCOE para as duas estimativas de investimento e a variação no custo da energia elétrica nos próximos anos. Obteve-se um payback de doze anos para o investimento nesse projeto solar, além da análise de sensibilidade do impacto do investimento inicial no payback do projeto. Obteve-se um VPL de R\$ 178.406 e uma TIR de 12%. Analisou-se, por fim, a diminuição da emissão de CO₂ ao longo da vida útil do sistema comparada a outras fontes de energia. Embora o preço pago pela energia na Rhodia seja baixo, o projeto de geração fotovoltaica se apresentou como uma opção viável de geração de energia elétrica limpa. Recomenda-se um estudo mais detalhado do perfil de consumo energético da Rhodia em diferentes meses do ano, assim como o estudo de instalação de placas fotovoltaicas em uma área maior, aumentando a produção de energia e diminuindo os custos atrelados à instalação.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

Durante o segundo semestre de 2019, a Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP firmou uma parceria com a equipe de engenharia da Rhodia para a apresentação de diversos temas para o Trabalho de Conclusão de Curso.

Dentre os temas apresentados, um dos mais interessantes foi a instalação de painéis fotovoltaicos em prédios administrativos da Rhodia, buscando a autossuficiência em seu consumo de energia, apenas com o telhado dos respectivos prédios como área disponível para a instalação dos painéis.

No ano de 2012 a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº482/2012 relacionada a geração distribuída, na qual alguns incentivos se tornaram fundamentais para um grande aumento na busca pela geração de energia solar fotovoltaica, entre eles está o sistema de créditos de energia, caso a geração superasse o consumo. Esses créditos tiveram sua validade aumentada de 36 para 60 meses, na Resolução Normativa nº687/2015, que foi mais um marco para o incentivo a geração solar.

Porém, o marco mais importante é a formalização do autoconsumo remoto, que permite que os créditos gerados sejam passados para outras unidades consumidoras que estejam no mesmo CPF ou CNPJ, desde que estejam na área de atendimento da mesma distribuidora. Esse novo formato que passou a vigorar após a publicação da Resolução Normativa nº482/2012 para geração de energia solar, aumentou a busca por novos projetos solares.

1.2. Oportunidades e uso no dia-a-dia de um engenheiro químico

Como foi constatado ao longo do curso de Engenharia Química, a energia é um dos maiores custos para a produção numa indústria, sendo uma das maiores preocupações para uma empresa. Então, maneiras de reduzir esse gasto estão sempre em pauta nas indústrias químicas. Algumas soluções são adotadas por estas companhias, sendo elas projetos de eficiência energética, ingresso no mercado livre de energia e a autoprodução de energia.

Algumas destas soluções não são abordadas no curso de engenharia química, como o mercado livre e a produção de energia solar, portanto não temos tanto conhecimento para o entendimento técnico dos cálculos, orçamentos e instalações

que são mostrados pelas empresas que fazem consultoria e instalação de painéis solares. Através da realização desse trabalho de conclusão de curso iremos entender como funcionam diversas dessas questões e entrar em detalhes que são fundamentais para a realização de um projeto de geração fotovoltaica seguro. Com isso, aumentaremos nosso conhecimento em soluções para barateamento da energia, diminuindo a possibilidade de fazer um mal negócio por aceitar análises mal feitas, que muitas vezes não condizem com a verdade para empresas que possuem outras fontes de geração e estão presentes no mercado livre de energia, que também estará em pauta no decorrer do trabalho.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos Gerais

Este estudo tem como objetivo analisar todo o processo para a instalação de painéis solares fotovoltaicos na visão de um funcionário da empresa Rhodia, desde o estudo sobre a formação de preço de energia, a análise de irradiação e sombreamento na região de Paulínia (onde está localizada a planta da Rhodia), importância da direção que estarão localizadas as placas, a inclinação dos telhados e análise de *payback* de investimento para a geração de energia das placas que serão instaladas.

2.2. Objetivos Específicos

Com estudo do *payback* esperamos mostrar qual a atual realidade para a geração de energia solar para empresas que estão presentes no mercado livre, mostrando as possibilidades futuras da energia solar para que o Brasil possa ter um grande investimento nesse tipo de geração.

Além disso, este trabalho tem como objetivo mostrar como funciona o dimensionamento de um aparato solar através do PVSYST, um dos grandes softwares utilizados mundialmente para realização de projetos que contém informações de irradiação, geração e permite até mesmo realizar desenhos das edificações. Este software trará informações de irradiação, potencial de geração e outras variáveis, mostrando um panorama de produção com a área disponível no prédio administrativo escolhido.

3. REVISÃO TEÓRICA

3.1. Panorama de energias renováveis no Brasil e no Mundo

O grande desafio atual é baseado na preocupação com a disponibilidade de energia no futuro com relação à sua demanda, principalmente pelo uso indiscriminado de fontes não-renováveis e pela intensa exploração dos recursos provenientes do planeta. (Mauad *et al.* 2017)

Diante deste panorama, os últimos anos têm sido marcados pela busca de energia renováveis que permitam reduzir o impacto ambiental. Essa busca tem como objetivo a mitigação tanto em escala local quanto global e que, de certa forma, possam substituir a atual matriz energética, priorizando o desenvolvimento sustentável, garantindo os seus aspectos ambientais, sociais e econômicos.

Destaca-se a energia solar e energia eólica como protagonistas nas soluções encontradas pela humanidade para lidar com esse novo desafio. O Brasil é um país com condições favoráveis para a implementação de usinas de ambas as fontes devido a disponibilidade destes recursos (Gomes *et al.* 2018).

O consumo de energia varia de forma significativa de país para país, entretanto, nota-se uma relação entre a utilização de energia per capita com o produto interno bruto (PIB) de cada nação. Nota-se um aumento do consumo de energia por pessoa conforme os países são avaliados de menores para maiores PIB, característica do desenvolvimento econômico (Noble e Nwankezie, 2017). De acordo com a Agência Internacional de Energia (2015), China e Estados Unidos são responsáveis por mais de 40% da produção de energia mundial. Esses países são seguidos por Rússia, Japão, Canadá, Alemanha, França, Brasil e Coreia. A participação desses dez países citados equivale a mais de dois terços da produção mundial de eletricidade.

Segundo a Agência Internacional de Energia (2019), mais da metade da geração de energia primária é proveniente de combustíveis fósseis, enquanto uma pequena parcela provém de fontes renováveis, fazendo com que haja um grande potencial de crescimento para estas fontes no mundo inteiro (IEA, 2005). A Figura 1 apresenta a matriz energética de produção de energia primária global.

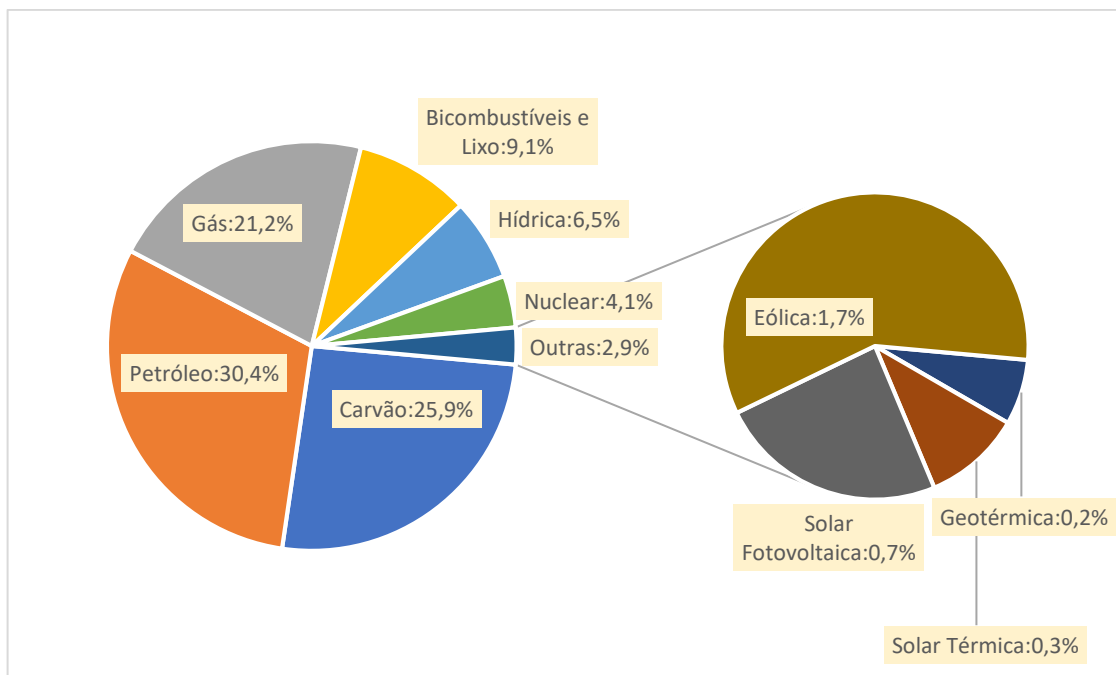


Figura 1. Matriz Energética de Produção de Energia Elétrica Mundial em 2017.

Adaptado de IEA, 2019

O cenário brasileiro contrasta com o cenário mundial, devido ao seu território de dimensões continentais e notória abundância de recursos naturais. Identifica-se uma disponibilidade muito maior de fontes de energia renováveis com relação às fontes não renováveis. Segundo o Sistema de Informações de Geração da Aneel (SIGA, 2020), a matriz renovável de energia compõe cerca de 82,73% de toda a geração de energia no país, destacando-se as usinas hidrelétricas como responsáveis por quase dois terços de toda a produção energética no território nacional e pela pequena parcela de carvão mineral, cerca de 2%, valor muito inferior da média mundial.

3.2. Geração de energia solar no mundo

O Sol é uma das fontes de energia conhecidas pela humanidade desde os primórdios, entretanto, possui um potencial ainda pouco explorado pelo mundo todo. Estima-se que cerca de 0,14% da energia solar disponível seria suficiente para satisfazer toda a demanda energética do mundo. (Dunlap, 2014). Outro detalhe pertinente é sobre a questão de outras fontes de energia, como a hidráulica, biomassa, eólica, combustível fóssil e energia dos oceanos serem formas indiretas da energia solar. (Gomes *et al.* 2018)

De uma forma mais direta, a energia solar pode ser classificada como térmica e fotovoltaica. Na térmica, os sistemas aproveitam essa energia para aquecimento de piscinas e águas residenciais em sua maioria. Já o sistema fotovoltaico, por outro lado, converte a radiação solar em energia elétrica utilizando semicondutores, fenômeno denominado de efeito fotovoltaico. (Da Cunha Kemerich *et al.* 2016)

Embora a energia solar esteja sendo aproveitada de forma mais eficiente no mundo há pouco tempo, ela se mostra como uma opção promissora por se tratar de uma fonte limpa e potencialmente infinita (Biângulo e Silva, 2015). Segundo dados da Agência Internacional de Energia (IEA, 2019), a taxa de crescimento anual de energia proveniente de sistemas fotovoltaicos desde a década de 1990 é de 37%, sendo essa a fonte que mais demonstra crescimento, devido à políticas ambientais e queda no custo de instalação de painéis solares, impactados pela fabricação chinesa nos últimos anos (Lazard, 2018) . A Figura 2 aborda a geração de energia instalada desde 2000 até os dias de hoje, assim como as projeções baseadas nas políticas atuais para geração de energia até o ano de 2040.

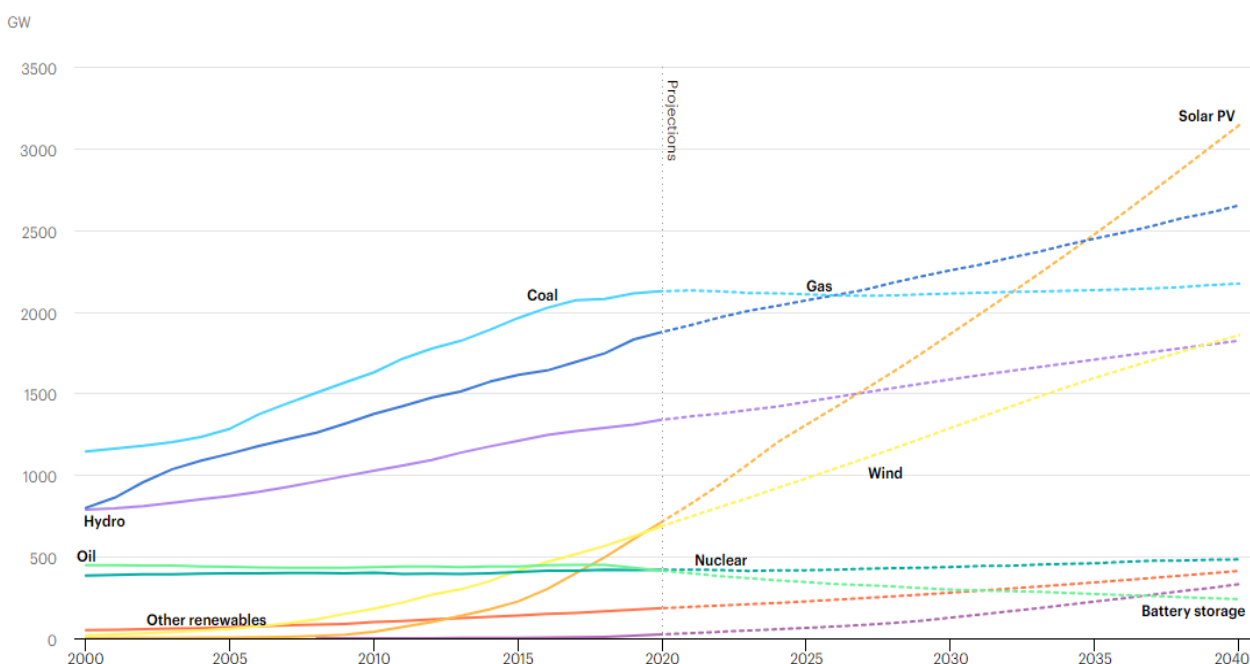


Figura 2. Capacidade de geração de energia mundial por matrizes energéticas.

Fonte: IEA, 2020

3.3. Geração de energia solar no Brasil

O território brasileiro se encontra em uma posição privilegiada no cenário mundial com relação à irradiação média diária, sendo ela entre 4,8 e 6,0 kWh/m²/dia, trata-se de um país com potencial para aumento da produção de energia através da fonte solar. (Gomes *et al.* 2018). Os valores da irradiação solar incidente em qualquer região brasileira são superiores aos de grande parte dos países europeus onde os projetos fotovoltaicos são amplamente empregados, como é o caso de Alemanha, França e Espanha. (Pereira *et al.* 2006)

Além desses fatores citados, a adoção de energia solar propicia benefícios em diversas esferas da sociedade, com impactos positivos no âmbito socioeconômico, ambiental e estratégico. A Figura 3 lista uma série de impactos benéficos ao Brasil.

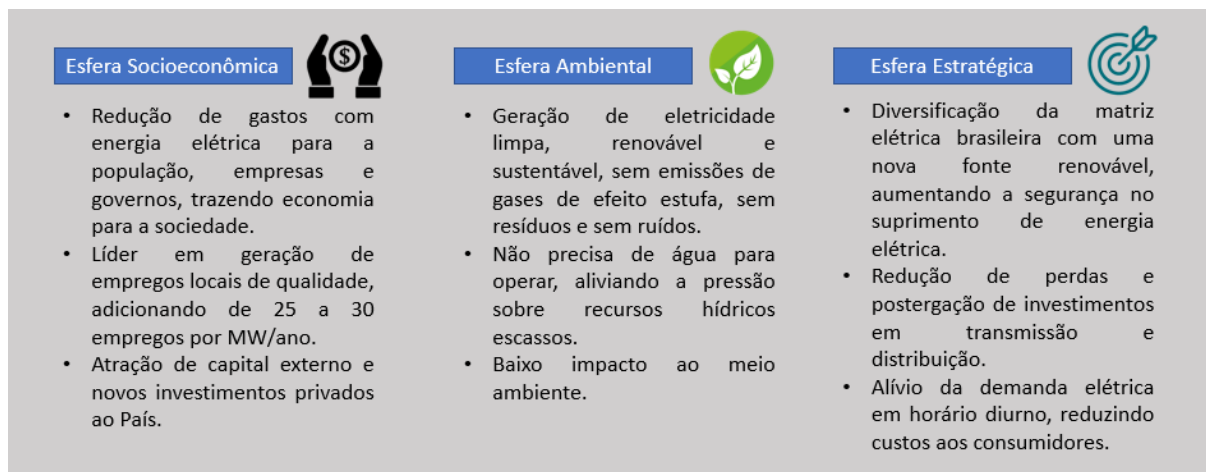


Figura 3. Benefícios da Energia Solar no Brasil. Fonte: Adaptado de ABSOLAR, 2020.

Embora o Brasil disponha de características favoráveis para a adoção de sistemas fotovoltaicos e tenha apresentado crescimento significativo nesse setor, principalmente nos últimos 5 anos, o país ainda está atrasado com a tecnologia perante o mundo e possui capacidade instalada inferior ao Chile na América do Sul. (Portal Solar, 2019)

No último ano, houve uma evolução da capacidade instalada de geração de energia elétrica proveniente da matriz solar equivalente à 84,8% com relação a doze meses anteriores, segundo o Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro do mês de março (2020). Embora contabilize as contribuições de gerações centralizadas e distribuídas, esse crescimento nos últimos anos tem sido impulsionado

pela geração distribuída que atingiu a marca de 1 GW de capacidade instalada, segundo o Portal Solar (2019), tornando a matriz solar responsável por aproximadamente 2,9% da geração de energia elétrica no país em 2020.

3.4. Geração distribuída

A geração distribuída de energia é definida pela geração de energia elétrica de menor porte, realizada próxima ao consumidor ou no próprio local de consumo que viabiliza a geração própria de energia, diminuindo perdas na transmissão e custos de distribuição de energia, além de promover a diversificação da matriz energética. (Martins *et al.* 2018)

A geração distribuída foi regulamentada em 2012 pela Resolução Normativa nº 482/2012, a qual estabeleceu as condições para o acesso de micro e minigeração distribuída de energia elétrica, essa Resolução permitiu ao consumidor brasileiro a opção de poder gerar sua própria eletricidade por fontes renováveis, podendo fornecer o excedente produzido para a rede de transmissão de energia elétrica da sua região. (Gomes *et al.* 2018)

Essa resolução fora atualizada com base na Resolução Normativa da Aneel nº687/2015, estabelecendo assim, a microgeração distribuída, referindo-se a unidades geradoras com potência instalada menor ou igual a 75 kW com cogeração por fontes renováveis e que estejam conectadas à rede de distribuição. Por outro lado, a minigeração foi regulamentada para unidades que possuam potência instalada superior a 75 kW e menor que 3 MW para o caso das fotovoltaicas. (Miranda, 2019)

Uma inovação importante, presente na resolução da ANEEL desde 2012, mas estendida em 2015, é a inserção do conceito de crédito energético para as unidades geradoras, caso a quantidade de energia consumida em um determinado mês seja inferior a energia gerada, o consumidor dispõe de créditos que podem ser compensados em faturas nos meses seguintes, anteriormente o período estipulado era de 36 meses, passando para 60 meses desde 2015. Não há a possibilidade desses créditos serem trocados por dinheiro, mas é estipulado uma correspondência energética para esses créditos, ou seja, o valor de 1 kWh no presente possui o mesmo valor de 1 kWh no futuro, independentemente do valor que este seja negociado.

Esses créditos podem ser usados para abater faturas de energia situadas em outro local da unidade geradora, desde que sob a mesma titularidade, tanto para

pessoa física quanto jurídica e que estejam na mesma área de cobertura de uma mesma distribuidora. Essa modalidade introduzida em 2015 foi denominada como “autoconsumo remoto”. Caso os créditos sejam utilizados para a mesma localidade da unidade geradora, esse se enquadra na modalidade de “autoconsumo local”. A última modalidade criada com base na Resolução 687/2015, segundo a ANEEL (2018) foi a de “geração compartilhada”, possibilitando a instalação de micro ou minigeração distribuída para que vários interessados se unam por meio de uma cooperativa ou consórcio e possam aproveitar a redução das suas respectivas faturas. A Figura 4, sintetiza a utilização dos créditos de energia consolidados ANEEL.



Figura 4. Utilização de créditos de energia. Fonte: ANEEL, 2016

As Resoluções Normativas proporcionaram uma popularização de sistemas de geração de energia descentralizados, outrora estagnada, desde 2015 a expansão desse setor adquiriu um caráter exponencial. Essa impulsão foi conduzida pelos setores residencial e comercial que representam aproximadamente 90% do total de sistemas de geração distribuída fotovoltaica no Brasil. (Miranda, 2019) Entretanto, todo o potencial de redução de custos associados a esses sistemas fizeram com que

que a participação fotovoltaica na geração distribuída crescesse exponencialmente, representando cerca de 85,8% da geração distribuída total brasileira. Na Figura 5, é possível notar a evolução de unidades fotovoltaicas (UFV) no país e o expressivo aumento desde 2015.

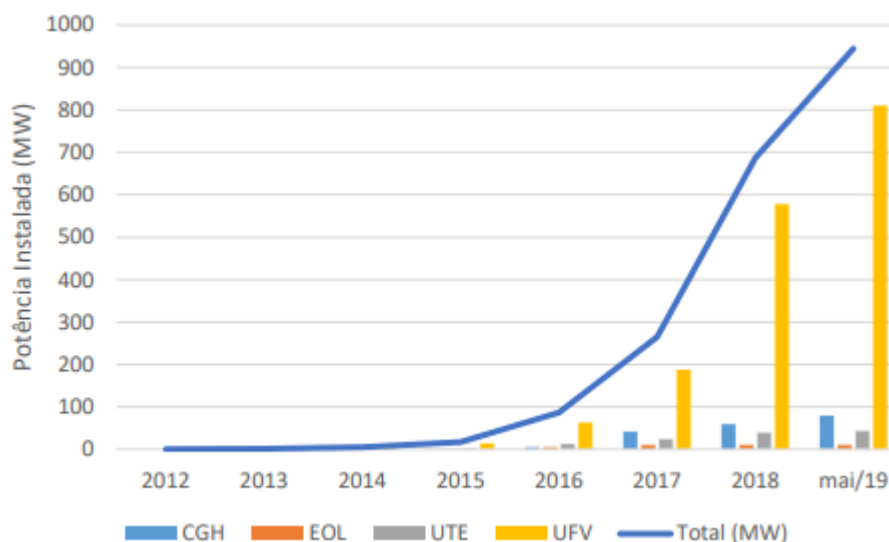


Figura 5. Evolução de potência instalada (MW) no Brasil de geração distribuída por fonte desde 2012. Fonte: Miranda, 2019.

Essa tendência de crescimento do setor fotovoltaico já pode ser considerada uma realidade no Brasil. Mesmo com o declínio de toda a economia mundial por conta da pandemia, tanto pessoas físicas quanto jurídicas buscarão formas de se protegerem do aumento de suas despesas, e esse novo horizonte proporcionado pelo advento da geração distribuída de energia no país se mostra como uma excelente oportunidade.

3.5. Mercado Livre de Energia e Autoprodução

Uma solução que vem sendo amplamente utilizada pela indústria para a redução de custos com energia elétrica, é o ingresso no mercado livre de energia. Este mercado teve início no governo Fernando Henrique Cardoso em 1995, a partir da lei 9.074/1995 que implementou algumas premissas para o acesso de consumidores e produtores de energia no ambiente de contratação livre. Este novo mercado permite que as empresas possam negociar o preço da sua energia, não ficando mais dependentes apenas da distribuidora local para contratação energia.

A partir daí, passaram a existir dois modelos de contratação de energia, sendo eles: o ACR (ambiente de contratação regulada) e o ACL (ambiente de contratação livre).

- Ambiente de contratação regulada: estão presentes as distribuidoras de energia elétrica, sendo também conhecido por mercado regulado. Estas distribuidoras participam de leilões de energia organizados pelo governo para adquirir energia para o abastecimento dos consumidores da sua área de concessão. Estes consumidores são residenciais, comerciais e industriais que contratam energia obrigatoriamente da distribuidora local. No modelo atual do setor elétrico, as distribuidoras podem repassar todos os custos com a energia adquirida nos leilões, além dos impostos e encargos inerentes. Neste ambiente de contratação, o consumidor não pode negociar prazo, preço e outras condições, pois estas são definidas anualmente pelas distribuidoras e aprovados pela ANEEL (Tolmasquim, 2011).
- Ambiente de contratação livre: neste mercado, as empresas podem negociar diversas condições, diferentemente do mercado regulado de energia. Estão presentes comercializadoras, geradores e consumidores, desde que possuam as características de consumo e geração necessária para a livre comercialização, que serão apresentadas mais à frente. Ao participar do mercado livre de energia, a empresa assume diversas obrigações financeiras e a sua exposição aos preços de energia que flutuam durante o ano inteiro, porém a economia para os agentes que possuem as demandas mínimas de consumo é muito relevante para a maioria das empresas, o que tem atraído diversos consumidores para este modelo (Tolmasquim, 2011).

Na Tabela 1 a seguir, encontra-se um comparativo entre o ambiente de contratação regulada e o ambiente de contratação livre.

Tabela 1. Mercado Cativo x Mercado Livre. Adaptado de CMU Energia, 2020

Características	Mercado Cativo	Mercado Livre
Fornecedor de Energia	Concessionária local	Qualquer gerador ou comercializador do SIN
Preço da Energia	Tarifas reguladas pela ANEEL, sujeitas às bandeiras tarifárias	Livremente pactuado entre as partes
Reajuste da Energia	Determinado Anualmente pela ANEEL	Indexador pactuado entre as partes
Prazo Contratual	Pré-estabelecido pela ANEEL	Livremente pactuado entre as partes
Volume	De acordo com a energia consumida	Livremente pactuado entre as partes
Preço e Reajuste do Transporte	Tarifas reguladas e reajustadas anualmente pela ANEEL	
Responsável pelo fornecimento físico	Concessionária local	

Desde 1995, diversas mudanças aconteceram até que chegássemos no modelo atual do mercado de energia. A Rhodia, possui diversos perfis dentro do mercado livre, tanto de consumo, quanto de geração, sendo eles: o de Produtor Independente, Autoprodutor, Consumidor Livre e Consumidor Especial, como mostrado na CCEE (Câmara de Comercialização de energia elétrica) na Tabela 2 disponibilizada com os agentes aderidos à câmara.

Tabela 2. Perfis de consumos da Rhodia. Adaptado de CCEE, 2020.

Perfil do Agente	Classe do Agente	Categoria do Agente	Submercado do Agente
Rhodia Poliam	Autoprodutor	Geração	Sudeste
Poliam I5	Consumidor Especial	Comercialização	Sudeste
Poliam Ape I5	Autoprodutor	Geração	Sudeste
Poliam II Ape I5	Autoprodutor	Geração	Sudeste
Lençóis Paulista	Consumidor Especial	Comercialização	Sudeste
Poliam NE	Autoprodutor	Geração	Nordeste
Poliam Norte	Autoprodutor	Geração	Norte
Poliam Sul	Autoprodutor	Geração	Sul
UTE Brotas I5	Produtor Independente	Geração	Sudeste
UTE Brotas	Autoprodutor	Geração	Sudeste
UTE Brotas II I5	Produtor Independente	Geração	Sudeste
UTE Brotas I CL	Consumidor Livre	Comercialização	Sudeste

No mercado livre de energia, existem dois tipos de consumidores. Essas fundamentações têm como base teórica a Cartilha da Abraceel (2016).

- Consumidor Especial: empresas que possuem entre 0,5MW e 2,0MW de demanda contratada, conectados em média ou alta tensão (acima de 2,3Kv) e podem apenas adquirir energia de fontes renováveis (eólica, Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs, solar e biomassa). Caso apenas uma unidade da empresa não se encaixe nesses quesitos, a comunhão de mais de uma unidade que tenha a mesma raiz de CNPJ (comunhão de direito) pode fazer com que a empresa tenha os pré-requisitos mínimos para a migração de todas as unidades. Outra opção é a comunhão de fato, caso duas empresas estejam num mesmo terreno, mesmo se não possuírem o mesmo CNPJ, podem se unir para a migração.
- Consumidor Livre: empresas que possuem 2,0MW ou mais de demanda contratada podem comprar energia de qualquer fonte de energia, segundo a Portaria nº514/2018, seja ela incentivada ou convencional. Esse valor de demanda contratada para ser um consumidor livre está abaixando. No dia 16 de dezembro, foi publicado no Diário Oficial da União a Portaria nº465/2018, que trata da flexibilização do acesso a fonte convencional. A partir de 1º de janeiro de 2021, empresas com mais de 1,5MW de demanda contratada

poderão ter acesso a fonte convencional. Este valor irá abaixar 0,5MW até 2023 até atingir o valor de 0,5MW, ou seja, todos os consumidores presentes no mercado livre passarão a ter acesso a fonte convencional de energia.

Com isso, é possível concluir que as empresas que podem migrar para o mercado livre de energia precisam ter no mínimo 0,5MW de demanda contratada. Na Figura 6, encontra-se resumido as condições necessárias para ingresso no mercado livre e diferenciação entre consumidores especiais e livre.

Demanda Mínima	Tensão de Fornecimento	Início de Operação	Pode comprar de	Tipo de Consumidor
3 MW ¹	Inferior a 69kV*	Antes de 8/7/1995*	Qualquer fornecedor	Livre
3 MW	69 kV ou Superior	Antes de 8/7/1995		
3 MW	Qualquer tensão	Após de 8/7/1995		
2,5 MW ²		Sem limitação		
2 MW ³				
500 kW			Fonte Incentivada	Especial

¹ Somente a partir de 01/01/2019 - Incluído na Lei 9074/1995 pela Lei nº 13.360, de 2016

² Somente a partir de 01/07/2019 - Incluído na Lei 9074/1995 pela Portaria nº 514, de 2018

³ Somente a partir de 01/01/2020 - Incluído na Lei 9074/1995 pela Portaria nº 514, de 2018

Figura 6. Condições de ingresso no mercado livre de energia. (Adaptado Lei 9074/1995)

Os consumidores livres do mercado livre podem comprar dois tipos de energia, sendo eles a energia incentivada e a energia convencional, possuindo cada uma as suas peculiaridades. Essas fundamentações têm como base teórica a Cartilha da Abraceel (2016).

- Energia incentivada: são usinas com potência igual ou inferior a 30MW, sendo elas de origem solar, biomassa, eólica, hidráulica ou cogeração qualificada. Esse tipo de usina tem direito a um desconto na Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) ou Tarifa do Uso do Sistema de Transmissão (TUST). Esse desconto varia de 50% a 100% dependendo da data de homologação e tipo de geração, essa medida teve como principal objetivo o incentivo da produção de energias a partir de fontes renováveis para a diversificação da

matriz energética brasileira, visto que o custo da produção dessas fontes é mais elevado do que as convencionais.

- Energia convencional: é proveniente de grandes centrais hidrelétricas e grandes usinas termelétricas. Estas não possuem desconto na Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição ou Tarifa do Uso do Sistema de Transmissão, porém apresentam menor valor do que as fontes incentivadas.

Para os geradores de energia, também existem alguns perfis, segundo a ANEEL (1998).

- Autoprodutor de energia elétrica: empresas que possuem autorização para a geração de energia para o seu consumo exclusivo.
- Produtor Independente de energia: empresas que possuem autorização para a geração e venda de energia total ou parcial para terceiros.
- Comercializador: empresas que possuem autorização para exercer a comercialização de energia, que compreende em compra e venda de energia para autorizados ou consumidores presentes no mercado livre de energia.

Como analisado no Infomercado da CCEE, a empresa Rhodia possui todos estes perfis no mercado livre de energia, o que mostra a relevância de consumo da empresa no setor elétrico brasileiro. A partir disso, percebe-se que a composição do preço de energia pago pela Rhodia na planta de Paulínia é de grande complexidade, então saber exatamente o quanto custa o valor pago no MWh utilizado pela empresa não é uma tarefa fácil, por isso nos foi encaminhado o contato do responsável dentro da empresa por essas questões para entendermos como é composto o preço de energia.

3.6. Formação de preços de energia

Segundo a cartilha da ABRACEEL (2016), ao quitar a sua fatura de energia, o consumidor paga dois diferentes serviços. Sendo eles a infraestrutura da distribuição da energia (manutenção, operação e outros serviços), também conhecido como “preço do fio” ou parcela B, e o preço da energia, conhecido também como parcela A, composta pela energia, custos de transmissão e encargos.

Quando se está no mercado livre de energia, você pode negociar o valor da energia (parcela A), porém a distribuição (parcela B) ainda vai ser paga a distribuidora

local, como mostrado na Figura 7. No caso da Rhodia que está localizada em Paulínia, a distribuidora local é a CPFL Paulista, segundo a ARSESP (2017).

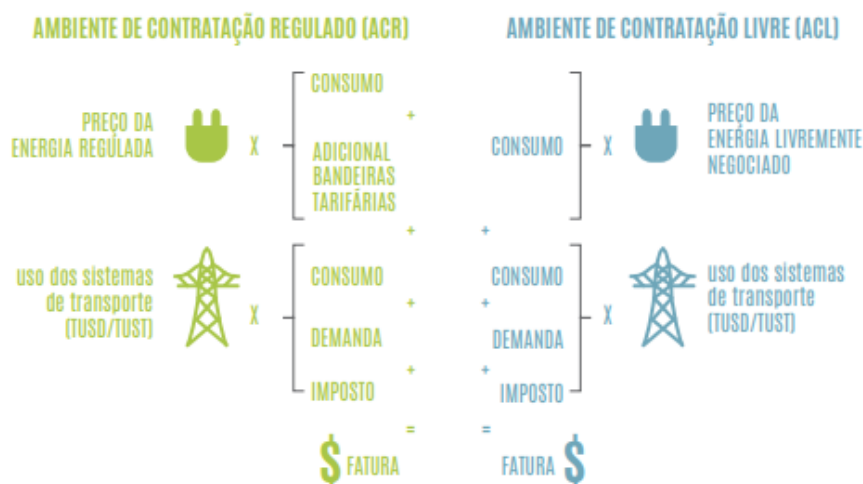


Figura 7. Composição dos preços de energia no ACR e ACL. Fonte: Abraceel, 2016.

Para saber quais são as tarifas pagas por qualquer empresa ou consumidor, basta saber em qual modalidade tarifária está instalada a sua unidade consumidora (UC), pois cada uma delas possui o seu respectivo valor para distribuição. Essa diferenciação de valores, de acordo com a Cartilha da ABRACEEL (2016), acontece devido ao uso de transformadores para a diminuição da tensão da energia vindo dos produtores de energia, portanto cada consumidor apresenta o seu perfil de tensão que definirá o valor da sua energia.

Conforme publicação da ANEEL (2015), no caso de consumidores de alta e média tensão, onde estão as grandes empresas, como a Rhodia, estão os consumidores de modalidade A, sendo eles os de alta tensão A1, A2 e A3, no caso de média tensão estão os A3a e A4. Sendo eles também divididos em horário Azul e Verde.

- **Horário Verde:** tarifas de energia diferenciadas para horário de ponta, que é o horário do dia onde o preço da energia é mais elevado devido à alta demanda de consumo de energia sendo definido por cada distribuidora, e horário de fora ponta, que é o horário do dia que o preço da energia é mais barato devido a menor demanda, porém possui uma única tarifa para a demanda contratada. Podendo ser utilizada para média tensão.

- Horário Azul: tarifa de energia e de demanda contratada diferentes nos horários de fora ponta e ponta. Podendo ser utilizada para média e alta tensão.

Na Figura 8 estão representadas as tensões de cada uma das modalidades tarifárias do grupo A.

GRUPO A

Grupamento composto de **unidades consumidoras** com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômia e subdividido nos seguintes subgrupos:

Subgrupo A1: 230 kV ou mais

Subgrupo A2: 88 a 138 kV

Subgrupo A3: 69 kV

Subgrupo A3a: 30 kV a 44 kV

Subgrupo A4: 2,3 kV a 25 kV

Figura 8. Tensão de distribuição por modalidade tarifária. Fonte: CMU Energia, 2020.

Ao saber a modalidade tarifária da empresa, é possível encontrar o valor pago durante o ano para energia, caso esteja no mercado cativo e da distribuição da energia, para ambos os casos, no mercado livre ou cativo. Essa informação é disponibilizada anualmente através de uma resolução homologatória que definirá esses valores.

Utilizando a Resolução Homologatória nº 2.526, válida atualmente na região de concessão da CPFL Paulista é possível encontrar valores para todas as modalidades tarifárias. Uma observação importante relacionada aos reajustes tarifários é que no caso da CPFL Paulista, o reajuste anual passa a vigorar a partir do dia 2 de abril, porém por conta da pandemia do Corona vírus, todos os reajustes previstos para o ano de 2020 foram adiados pela ANEEL (2020) até 1 de julho.

Na Tabela 3, está exemplificado o quanto uma empresa do grupo A2 paga por cada uma das suas componentes de energia.

Tabela 3. Valor das tarifas para a modalidade tarifária A2. Fonte: Resolução Homologatória nº2.526, 2019.

MODALIDADE	ACESSANTE	POSTO	TARIFAS DE APLICAÇÃO			BASE ECONÔMICA		
			TUSD		TE	TUSD		TE
			R\$/kW	R\$/MWh	R\$/MWh	R\$/kW	R\$/MWh	R\$/MWh
AZUL	NA	P	11,45	59,01	436,86	11,25	54,38	373,92
		FP	5,52	59,01	263,30	5,34	54,38	233,99
AZUL APE	NA	P	11,45	8,95	0,00	11,25	7,26	0,00
		FP	5,52	8,95	0,00	5,34	7,26	0,00

Portanto, observando a Tabela 3, sabe-se que uma empresa do grupo A2, paga no horário de ponta R\$11,45/kW na demanda contratada, R\$59,01/MWh na TUSD (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição) demanda e R\$436,86 na energia. Já no horário de fora ponta, R\$5,52/kW na demanda contratada, R\$59,01/MWh na TUSD demanda e R\$263,30 na energia, sem contar os impostos (PIS, COFINS e ICMS), sendo que estes valores pagos em impostos podem ser restituídos pelas empresas.

Para uma empresa que está no mercado livre de energia, de acordo com a cartilha da ABRACEEL (2016), os valores de energia serão negociados com os players do mercado, sendo eles comercializadores ou produtores de energia. Os contratos no mercado livre podem ser firmados com diversos mecanismos que se encaixarão da melhor maneira para cada tipo de consumidor. No caso de sobra ou excesso mensal no seu contrato, ele pode ser negociado no mercado spot, balizado através do PLD (Preço da Liquidação das Diferenças) mensal. Assim, você terá o valor mensal da sua energia em R\$/MWh e poderá realizar um comparativo entre mercado cativo e livre, o qual geralmente traz valores significativos de economia.

Na Figura 9, está mostrando o quanto as empresas que optaram pelo ACL economizaram no total até 2015.

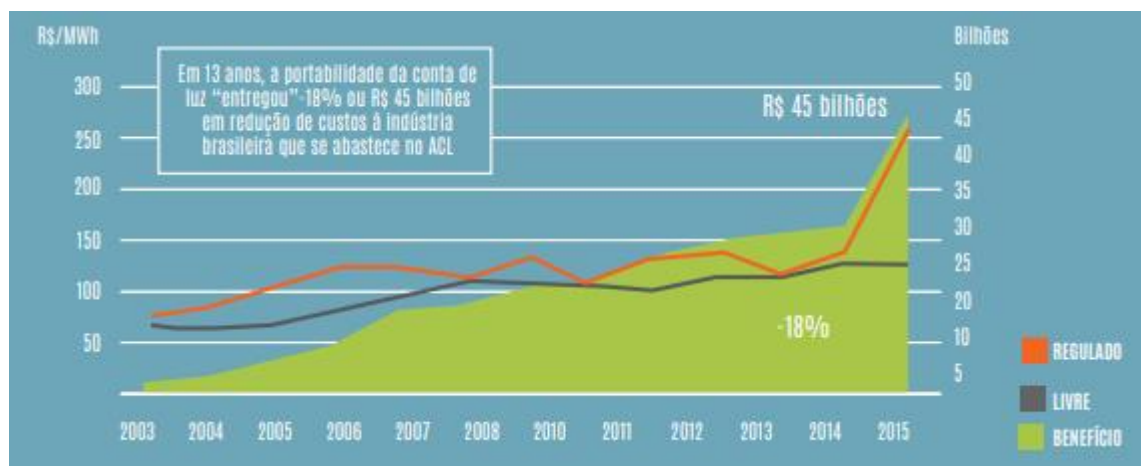


Figura 9. Economia das empresas no ACL. Fonte: Abraceel, 2016.

O valor mostrado na Figura 13 é bastante expressivo, R\$45 bilhões, mostrando o motivo da grande ascensão desse mercado nos últimos anos. No caso de empresas que possuem produção de energia, que é o caso da Rhodia, que possui duas UTE's (Usinas termelétricas), a UTE Brotas 1 e UTE Brotas 2, pode também haver alguma modificação no preço da demanda de energia, pois essas empresas podem possuir algum tipo de desconto no valor da demanda contratada devido ao tipo de energia produzida, o que trará um menor valor na tarifa, aumentando a economia em comparação ao mercado cativo. Já no caso da TUSD demanda não haverá alteração de valor.

3.7. Funcionamento de um aparato solar

No caso da geração solar através de placas fotovoltaicas, os painéis são atingidos pelos raios solares e geram energia elétrica através do efeito fotovoltaico. Essa eletricidade é conduzida até os inversores que são os responsáveis por transformar a corrente contínua em alternada para que a unidade consumidora possa consumir essa energia, segundo o Portal Solar (2020). Além disso, considerando casos onde a geração distribuída ultrapassa o consumo, há injeção de energia na rede.

A incidência dos raios solares nas placas fotovoltaicas varia para cada dia do ano, pois depende da posição do Sol no céu. A Figura 10 aborda como incidem os raios solares em um módulo solar. O módulo possui um ângulo de inclinação α em relação ao solo e sua face voltada para o norte geográfico. Os raios solares incidem, com um ângulo de incidência β , sobre a superfície do módulo, definido por sua reta normal. A altura solar γ_s varia conforme a posição do sol no ano.

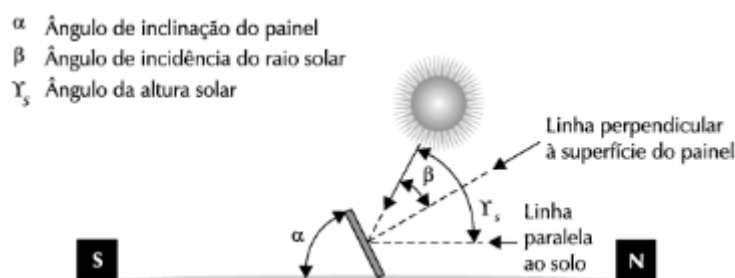


Figura 10. Ângulo de inclinação e incidência solar. Fonte: Villalva, 2012.

O melhor arranjo para um módulo fotovoltaico ocorre quando os raios incidem perpendicularmente ao módulo, com ângulo $\beta = 0$, ou seja, para maximizar a captação de energia solar, a inclinação solar precisa ser ajustada diariamente (Villalva, 2012). Existem soluções automatizadas para esse quesito, embora aumentem o custo do projeto.

O efeito fotovoltaico, responsável pela conversão da radiação eletromagnética do Sol em energia elétrica, ocorre quando há o encontro entre a luz solar e o material semicondutor. A célula fotovoltaica é composta pelo arranjo de duas camadas de material semicondutor, sendo elas do tipo N e tipo P. O material N possui um excedente de elétrons e o material P carece de elétrons. Essa camada de material N é fina o suficiente para permitir a penetração da luz solar, excitando os elétrons para vencer a barreira potencial e se movimentarem para a camada P gerando a corrente elétrica. (Villalva, 2012). A Figura 11 ilustra esse fenômeno

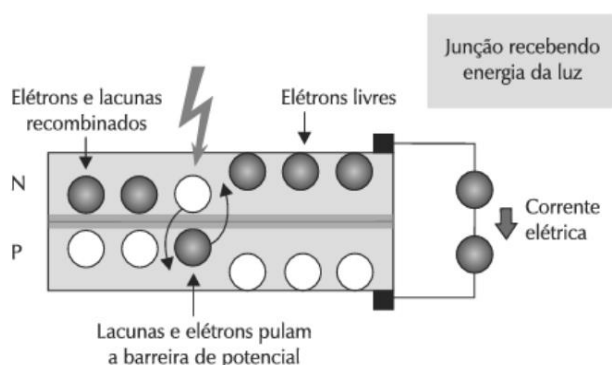


Figura 11. Representação de um material semicondutor exposto à luz.

Fonte: Villalva, 2012

Uma célula fotovoltaica apenas não é suficiente para produzir muita energia e apresenta uma tensão elétrica ínfima, entretanto os módulos fotovoltaicos são compostos por inúmeras células distribuídas em série, fazendo com que a quantidade de energia e tensão elétrica seja elevada o suficiente para as aplicações em larga escala.

Atualmente as células fotovoltaicas amplamente consolidadas no mercado são constituídas de silício monocristalino, policristalino, amorfo. As células monocristalinas estão entre as mais eficientes produzidas comercialmente, entretanto possuem um custo de produção elevado comparado as outras tecnologias. A Tabela 4 compara a eficiência de diversas fontes de tecnologias de células fotovoltaicas, compostas por silício ou outros tipos de materiais. (Villalva, 2012).

Tabela 4 – Eficiência de células fotovoltaicas. Fonte: Villalva, 2012.

Material da célula fotovoltaica	Efc. da célula em laboratório	Efc. da célula comercial	Efc. dos módulos comerciais
Silício monocristalino	24,7 %	18 %	14 %
Silício policristalino	19,8 %	15 %	13 %
Silício de filme fino	19,2 %	9,5 %	7,9 %
Silício amorfo	13 %	10,5 %	7,5 %
Silício microamorfo	12 %	10,7 %	9,1 %
Célula solar híbrida	20,1 %	17,3 %	15,2 %
CIGS	18,8 %	14 %	10 %
Telureto de Cádmio	16,4 %	10 %	9 %

3.8. Montagem de um aparato solar

Ao avaliar a montagem de um aparato solar, algumas informações são muito importantes para entender o potencial de geração numa determinada região. Uma das variáveis fundamentais é a insolação, que é medida em Wh/m²/dia, ou seja, a quantidade de energia que chega a determinado ponto do globo por metro quadrado durante um dia, não sendo a energia que é gerada pelos módulos fotovoltaicos. (Villalva, 2012)

Na Figura 12 está representado como a insolação varia por região do país, destaca-se a existência de alguns estados com uma tendência melhor para geração do que outros, justificado pela sua respectiva latitude.

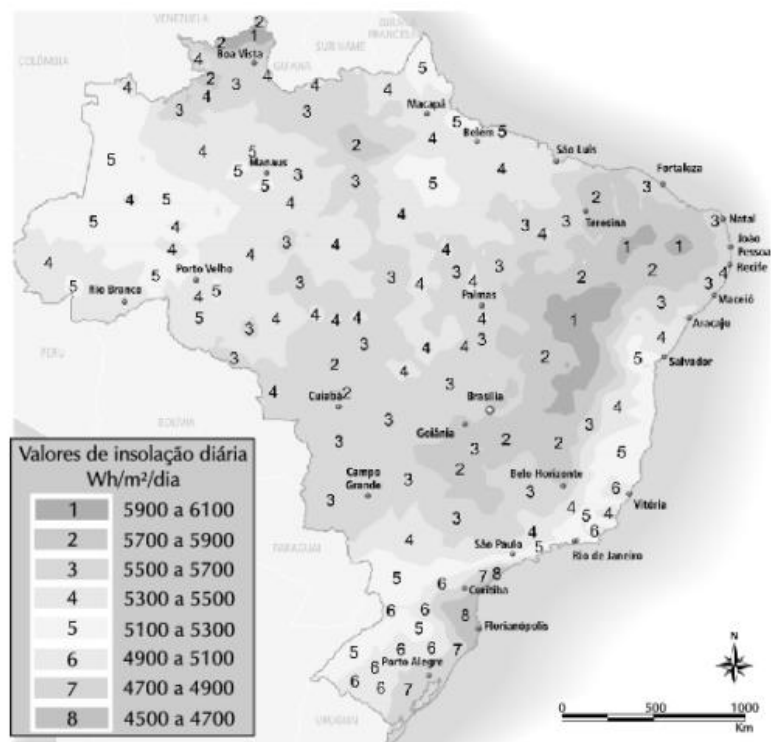


Figura 12. Insolação diária no Brasil. Fonte: Atlas de Energia Elétrica no Brasil, ANEEL, 2ªedição.

Outra informação relevante para o aproveitamento máximo do módulo solar fotovoltaico é a orientação do mesmo em relação ao sol, pois esse valor irá afetar diretamente a insolação e consequentemente o quanto de energia chegará ao plano, influenciando a produção de energia (Villalva, 2012).

Para entender melhor como orientar o módulo fotovoltaico é importante entender como funciona o ângulo azimutal, que é o ângulo de orientação do mesmo em relação ao norte geográfico. Como estamos localizados no Hemisfério Sul, a orientação para o norte geográfico resultará nos melhores resultados de geração devido ao movimento que o Sol faz durante o dia em relação a terra. Essa orientação tem um aproveitamento ideal da luz solar, pois durante todo o dia terá incidência dos raios solares, como mostrado na Figura 13 (Villalva, 2012).

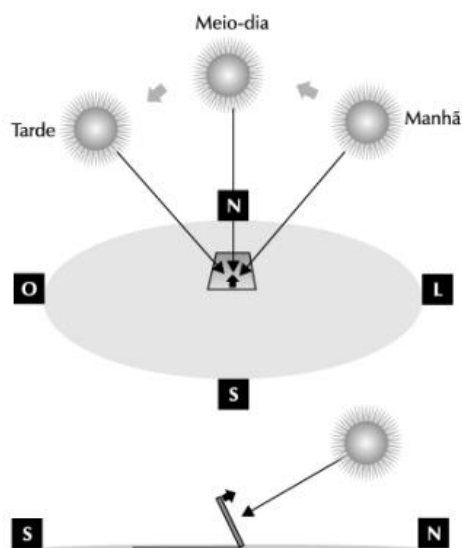


Figura 13. Benefícios da orientação norte para placas fotovoltaicas. Fonte: Villalva, 2012.

Para o caso de uma instalação voltada para o Oeste ou para o Leste, haverá incidência solar apenas durante um período do dia, tarde ou manhã, respectivamente para este caso, como mostrado na Figura 14.

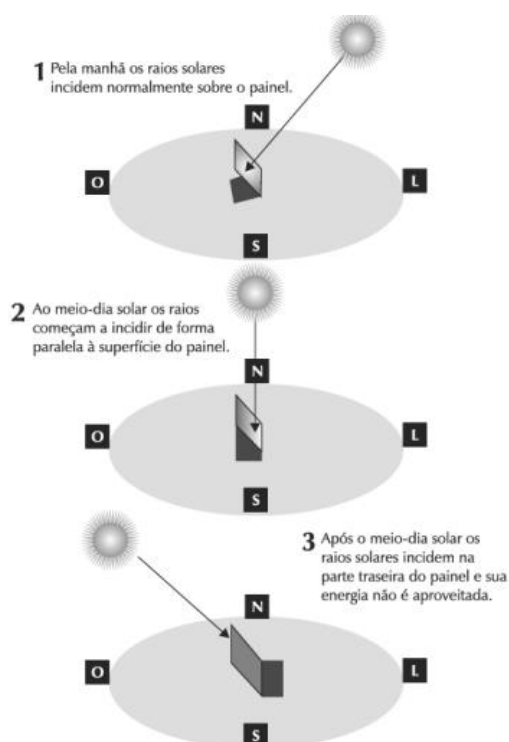


Figura 14. Orientação azimutal incorreta para a geração solar. Fonte: Villalva, 2012.

Além da insolação e da orientação dos módulos fotovoltaicos, a inclinação destes também tem influência no quanto a instalação irá gerar. O ângulo perfeito para o aproveitamento da energia que incide no módulo é aquele que fará com que os raios incidam perpendicularmente às placas. O ideal seria alterar todos os dias a inclinação dos módulos devido ao movimento do Sol, porém não são todas as instalações que merecem esse investimento mais elevado. Nas Figuras 15 e 16 é possível observar a inclinação ideal dos módulos fotovoltaicos, como também a variação da captação de acordo com estas inclinações durante as estações do ano (Villalva, 2012).

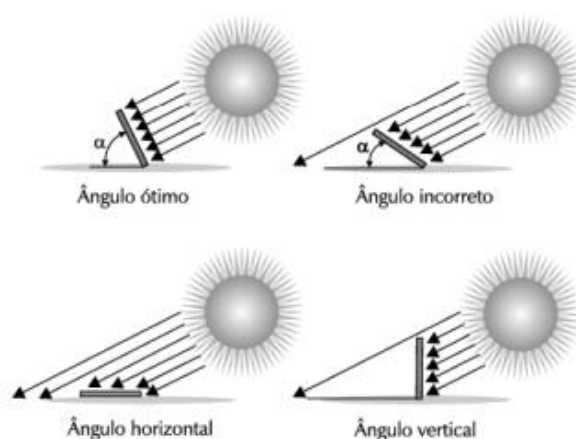


Figura 15. Inclinações dos módulos fotovoltaicos. Fonte: Villalva, 2012.

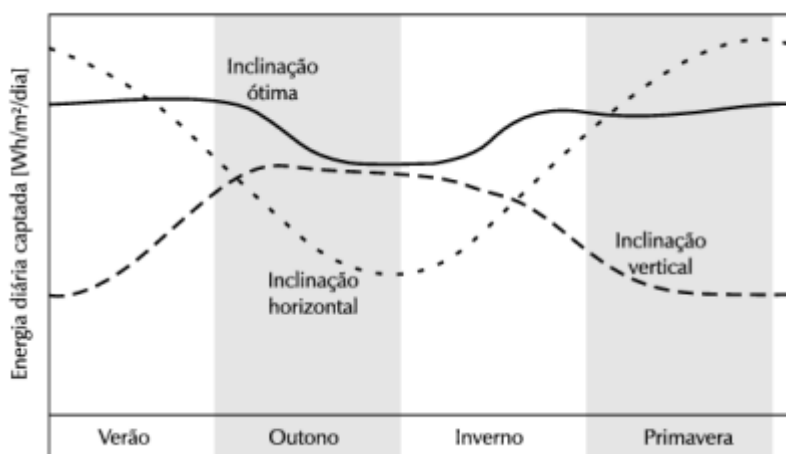


Figura 16. Energia solar diária captada com diversas inclinações. Fonte: Villalva, 2012.

3.9. Importância da orientação e do sombreamento em placas nas instalações em telhados

Ao pensar no tipo de instalação de painéis solares mais utilizada atualmente, que é a em cima de telhados, percebemos que não é possível muitas vezes obter a melhor orientação. Nesse caso, é possível pensar se valerá a pena fazer algum tipo de obra para tentar obter a melhor posição. O que é mais importante nesse momento é não aceitar realizar qualquer alteração sem um estudo prévio de um profissional sobre como projeto poderá impactar no prédio, além de saber se estará preparada para fenômenos naturais, como ventanias fortes e chuvas (Villalva, 2019).

Na Figura 17 encontra-se um caso de má instalação das placas que poderá causar a perda do projeto e na Figura 18 uma situação em que a negligência em busca de uma melhor orientação do módulo fez com que o projeto não suportasse a uma ventania e cedesse.



Figura 17. Instalação inadequada de placa solar fotovoltaica. Fonte: Villalva, 2019.



Figura 18. Incidente em Campina Grande – PB ocasionado pela força do vento.

Fonte: Villava, 2019

Portanto, é importante buscar a melhor orientação para a sua instalação, porém não valerá a pena o ganho em geração devido a alteração da inclinação na maioria das ocasiões. Considerando o valor a mais pela realização da obra, além do risco que o projeto terá de ocasionar algum dano ao prédio, podendo causar também a perda das placas. Em telhados com diversas orientações e inclinações, o mais interessante é analisar qual delas te trará mais geração de energia e se irá atender a sua expectativa de payback, sem pensar em fazer grandes adaptações físicas ao projeto (Villalva, 2019).

Com relação ao sombreamento, existem dois tipos que podem causar efeitos diferentes. O sombreamento total, que geralmente é ocasionado por nuvens irá diminuir a geração total da placa. Porém o sombreamento parcial, que acontece devido a circunstâncias físicas como a existência de árvores, chaminés ou torres, é o sombreamento que poderá causar mais danos por gerar regiões de aquecimento nas placas que podem causar um ponto de operação em baixa potência, diminuindo muito a geração do módulo fotovoltaico. Existem inversores que podem auxiliar nessa questão, diminuindo a perda devido as sombras, porém ainda ocasionaria uma redução relevante no potencial de geração do módulo (Villalva, 2020).

4. METODOLOGIA

4.1. Coleta de dados

Para a realização de uma análise inicial, são necessárias algumas informações por parte da empresa, dentre elas: a localização do prédio, área disponível para instalação das placas, preço pago pela energia e o consumo do prédio, visto que o interesse da Rhodia é transformá-los em autossuficientes em energia.

A localização do prédio é importante, pois é uma informação que trará o potencial de irradiação naquele ponto do mapa, através do *software* PVSYST e consequentemente influi diretamente na geração dos módulos fotovoltaicos.

A partir da localização, foi utilizado o Google Earth que possui uma ferramenta que permite medir o tamanho de qualquer área no mapa, que para uma análise inicial de um projeto é um ótimo ponto de partida. No caso de fechar a realização do projeto com alguma empresa, o ideal é ter o tamanho exato dos telhados que serão utilizados. Com esses valores foi possível estimar o número de módulos fotovoltaicos serão instalados

Com relação ao preço pago pela energia, nos foi proposto por um dos responsáveis por essa questão na Rhodia Paulínia, alguns valores para o preço da energia, da distribuição e do preço pago pela demanda, que serão utilizados para estimar o preço do *payback*. Estes valores estão representados na Tabela 5, assim como as taxas utilizadas para o cálculo dos parâmetros financeiros.

Tabela 5. Parâmetros financeiros do projeto. Fonte: Autoria Própria.

Dados	
Taxas	Valor
Tarifa de energia no mercado livre	R\$161,80/MWh
Tarifa de distribuição	R\$59,01/MWh
Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	2,25%
Taxa de manutenção	1% do valor investido ao ano
Depreciação do Sistema	0,5% ao ano

Como o prédio escolhido está ligado a toda planta da Rhodia não se tinha uma medição exata do consumo de energia pelo prédio. Então, nos foi fornecido uma

medição com a potência do prédio e do PDC (Data Center) para que fosse possível estimar o consumo anual de cada um deles. As Tabelas A.1 e A.2, apresentadas na seção de Anexos, representam o consumo do prédio e do PDC, respectivamente, com base em uma tomada de medição de 20 minutos durante um horário de consumo normal de energia, informações que foram fornecidas pela equipe da Rhodia.

Com base nessa tomada de dados, obteve-se um valor de carga de energia elétrica, tornando possível o cálculo da estimativa de consumo do prédio e do PDC. Estimou-se os consumos, conforme as Tabelas 6 e 7, abaixo:

Tabela 6. Estimativa de Consumo Predial. Fonte: Rhodia, 2020.

Estimativa de Consumo Predial	
Estimativas	Valor
Potência Média (kW)	29,41
Horas de funcionamento por dia (h/dia)	8
Dias de funcionamento no mês (dia/mês)	22
Meses do ano (meses/ano)	12
Consumo médio anual (MWh/ano)	62,12

Tabela 7. Estimativa de consumo PDC. Fonte: Rhodia, 2020.

Estimativa de Consumo PDC	
Estimativas	Valor
Potência Média (kW)	34,90
Horas de funcionamento por dia (h/dia)	24
Dias de funcionamento no mês (dia/mês)	31
Meses do ano (meses/ano)	12
Consumo médio anual (MWh/ano)	311,61

Utilizou-se a média das tomadas de dados citadas para estimar a Potência Média, ou carga de energia elétrica, considerando que o prédio operasse em média por 8 horas ao dia, durante 22 dias úteis por mês, ao longo dos 12 meses do ano, enquanto o PDC opera durante todo o ano. Obteve-se, assim, a estimativa do consumo médio anual.

4.2. Equações utilizadas para o PVSYST e balanço financeiro.

A partir do relatório emitido no PVSYST é possível calcular qual será a potência energética em kWp (kilowatt-pico) das instalações nos 4 telhados. Para cada orientação, obtivemos uma potência, que estão exemplificadas na Tabela 8.

Tabela 8. Potência energética de geração por orientação. Fonte: Autoria Própria.

Potência energética	
Telhados	Valor (kWp)
P _{T1,2}	27,36
P _{T3,4}	13,68
Total	41,04

Para analisar o bom desempenho de um sistema, um parâmetro muito importante é calculado, o PR (*Performance Ratio*). Esse parâmetro, define uma relação entre o potencial de geração real do sistema e a teórica, ou seja, ele fornece a quantidade de energia disponível, desconsiderando as perdas de energia. Essas perdas podem ser relacionadas a fatores ambientais (temperatura dos módulos, existência de sombra ou sujeira no módulo), perdas de linha, rendimento do módulo e do inversor. Quanto mais próximo de 100%, melhor será a qualidade dos módulos fotovoltaicos, porém valores próximos a 80% já são considerados ótimos, segundo a SMA Solar Technology AG (2015). Essa análise será feita para os valores do telhado 1 e 2, porém os valores fornecidos pelo PVSYST para os telhados 3 e 4 são muito similares. A Equação 1 é utilizada para o cálculo do *Performance Ratio*.

$$PR = \frac{\text{Rendimento real do sistema}}{\text{Rendimental nominal do sistema}} \quad (1)$$

Outro parâmetro que é possível calcular através dos dados de geração fornecidos pelo PVSYST é o Fator de Capacidade (FC). Este fator define a capacidade efetiva de produção de uma usina solar em um determinado período, que será de um ano e é uma relação entre a energia útil gerada e a energia potencialmente gerada durante o período escolhido. Para o seu cálculo foi utilizada a Equação 2 a seguir.

$$FP = \frac{\text{Energia gerada}}{P_{T1,2} * 365\text{dias} * 24\text{horas}} = \frac{40,88\text{MWh}}{27,36\text{kW} * 365\text{dias}} = 17,06\% \quad (2)$$

O cálculo do FP será feito para valores de energia gerada diferentes, que serão variados a partir do valor para inclinação do telhado, sendo que para a realização do fluxo de caixa, consideramos a geração para o valor de 7° nos telhados 1 e 2.

Além do PR, o PVSYST nos fornece os valores de Energia Absorvida (E_{abs}) e de Energia Útil ($E_{útil}$). Através de algumas transformações é possível obter o valor de Yf (energia útil normalizada), Ls (perda normalizada de energia do inversor), Energia nominal normalizada (E_{nnom}), Lc (perda normalizada de energia dos módulos). Os valores encontrados pelo PVSYST se encontram na Tabela A.3 em anexo e para exemplificar, apresenta-se as Equações 3, 4, 5 e 6 para a obtenção desses parâmetros referentes ao mês de janeiro para a orientação dos telhados 1 e 2, respectivamente.

$$Yf = \frac{E_{útil}}{P_{T1,2} * D} * 1000 = \frac{3,58\text{MWh}}{27,36\text{kWp} * 31\text{dias}} * 1000 = \frac{4,224\text{kWh}}{\text{kWp} * \text{dia}} \quad (3)$$

$$Ls = \frac{(E_{abs} - E_{útil})}{P_{T1,2} * D} * 1000 = \frac{(3,67 - 3,58)\text{MWh}}{27,36\text{kWp} * 31\text{dias}} * 1000 = \frac{0,103\text{kWh}}{\text{kWp} * \text{dia}} \quad (4)$$

$$Ennom = \frac{Yf}{PR} = \frac{4,224\text{kWh}}{0,834\text{kWp} * \text{dia}} = \frac{5,07\text{kWh}}{\text{kWp} * \text{dia}} \quad (5)$$

$$Lc = Ennom - \frac{E_{abs}}{P_{T1,2} * D} * 1000 = 0,738 \frac{\text{kWh}}{\text{kWp} * \text{dia}} \quad (6)$$

Onde,

P_{T1,2}: Potência energética das placas com a orientação dos telhados 1 e 2 em kWp;

D: dias no mês;

Segundo o Portal Solar (2015) a duração de um painel solar é de 25 anos, então utilizamos este valor para a realização do fluxo de caixa descontado. Este fluxo foi feito com base no preço teórico, contendo ano a ano, os valores de economia,

manutenção, porcentagem de suprimento solar do prédio, preço da distribuição e da energia. Todas as informações estão demonstradas na Tabelas A.4 na seção de anexos.

Para o cálculo de economia, utilizou-se o preço pago no MWh pela Rhodia atualmente subtraído do valor pago através da geração solar e da manutenção da instalação, como na Equação 6 a seguir.

Economia anual

$$= - \text{Investimento solar} + \text{Preço da Energia na Rhodia} \\ - \text{Manutenção}$$

Economia anual

$$= - \text{Investimento solar} + [\text{MWh} * (\text{TUSD} + \text{Energia no ML})] \\ - \text{Manutenção} \quad (7)$$

Em relação ao VPL (FERREIRA, 2017) e ao TIR (BORGES, 2013), foram utilizadas as duas fórmulas, representadas a seguir através das Equações 7 e 8.

$$VPL = -FC_0 + \frac{FC_1}{(1+TMA)^1} + \frac{FC_2}{(1+TMA)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+TMA)^n} \quad (8)$$

Onde,

VPL: soma do valor dos fluxos de caixa do projeto;

FC₀: investimento inicial, sendo uma saída negativa na equação;

FC_n: fluxo de caixa no tempo n;

TMA: taxa mínima de atratividade.

$$TIR = 0 = FC_0 + \sum_{n=1}^t \frac{FC_n}{(1 + TIR)^n} \quad (9)$$

Quanto maior o TIR em relação a TMA, melhor se torna o investimento. Como sabemos que a economia brasileira está em constante mudança, fizemos uma análise de VPL, considerando duas TMA diferentes, para efeito de comparação. A primeira é a Selic de junho de 2020, que estava no patamar de 2,25% e a Selic de junho de 2019 que estava a 6,5%.

5. RESULTADOS

5.1. Análise da Simulação do Pvsyst

Para a realização da instalação em telhados, a escolha de quais partes deste serão utilizadas é muito importante, pois orientação e inclinação influem diretamente no potencial de geração do módulo fotovoltaico.

No caso do prédio da Rhodia, consideramos 4 telhados, sendo os telhados 1 e 2 com ângulo azimutal de 15° e os telhados 3 e 4 com ângulo azimutal de -75° , ambos os valores estimados. Como não temos informações sobre a inclinação dos telhados, consideramos um valor fixo de 7° como citado anteriormente, para efeito de comparação. Como a instalação é feita em telhados, não se recomenda a realização de obras para ajuste de orientação, logo o ideal é considerar um valor fixo (Villalva, 2012). Nas Figuras 19, 20, 21 e 22 estão representados os telhados 1, 2, 3 e 4, respectivamente.



Figura 19. Telhado 1 do Prédio Administrativo da Rhodia. Fonte: Google Earth, 2020.



Figura 20. Telhado 2 do Prédio Administrativo da Rhodia. Fonte: Google Earth, 2020.



Figura 21. Telhado 3 do Prédio Administrativo da Rhodia. Fonte: Google Earth, 2020.



Figura 22. Telhado 4 do Prédio Administrativo da Rhodia. Fonte: Google Earth, 2020.

Nessas imagens do Google Earth é possível obter as medidas em m² de cada telhado destacado em amarelo, eles estão representados na Tabela 9, a seguir:

Tabela 9. Dimensão dos telhados selecionados para o estudo. Autoria Própria.

Tamanho dos telhados	
Nº do telhado	Valor (m ²)
1	139,36
2	63,96
3	83,40
4	25,92

A partir das Figuras dos telhados e do tamanho deles, percebemos que os telhados 1 e 2 têm a mesma orientação, apresentando uma área total de 203,32 m² para a instalação das placas e os telhados 3 e 4 também apresentam mesma orientação, porém com área total de 109,32 m².

Estes telhados foram escolhidos, pois apresentam sua face com orientação mais próxima ao norte, disposição ideal para a instalação como citado anteriormente. Considerando o modelo de telhado com cascata para os dois lados nos telhados 1, 2 e 4; realizou-se uma comparação no PVSYST para saber qual a irradiação que chega em cada um dos telhados com a cascata contrária aos selecionados para comparação. Na Figura 23, apresenta-se a irradiação para a orientação dos telhados 1 e 2, já na Figura 24, apresenta-se a orientação de cascata contrária para estes telhados.

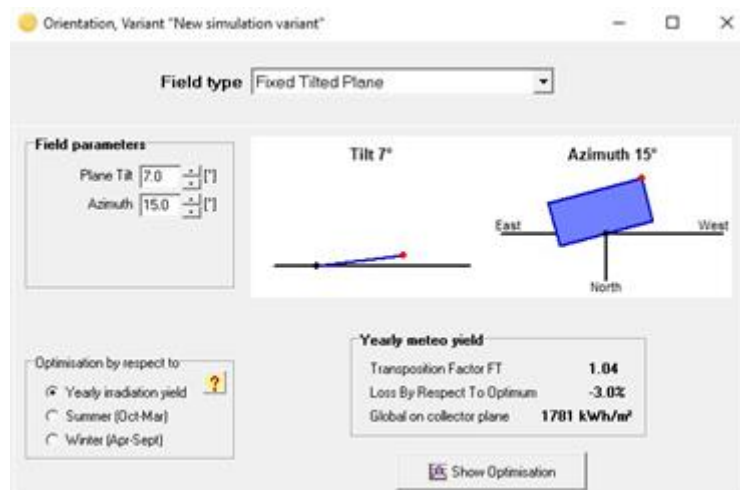


Figura 23. Simulação de irradiação para orientação dos telhados 1 e 2. Fonte: PVSYST, 2020.

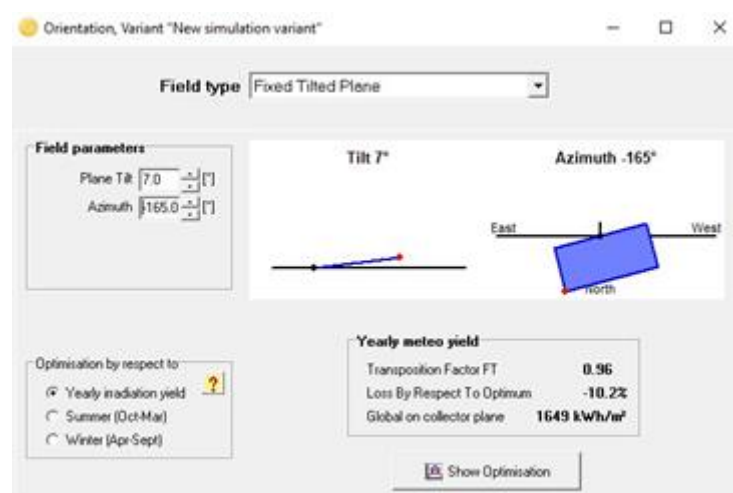


Figura 24. Simulação de irradiação para orientação contrária dos telhados 1 e 2. Fonte: PVSYST, 2020.

Percebe-se que a perda devido a exposição aos raios solares cai de 10,2 % a 3,0 %, o que influencia na irradiação que chega nos módulos, podendo diminuir o potencial de geração dele. Para o telhado 4, foi feita a mesma simulação e a diferença foi de 6,6% para 5,7%, como demonstrados nas Figuras 25 e 26.

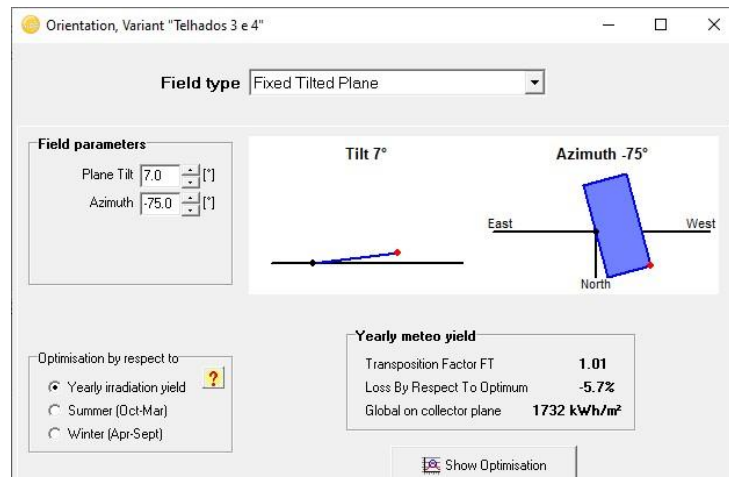


Figura 25. Simulação de irradiação para orientação do telhado 4. Fonte: PVSYST, 2020.

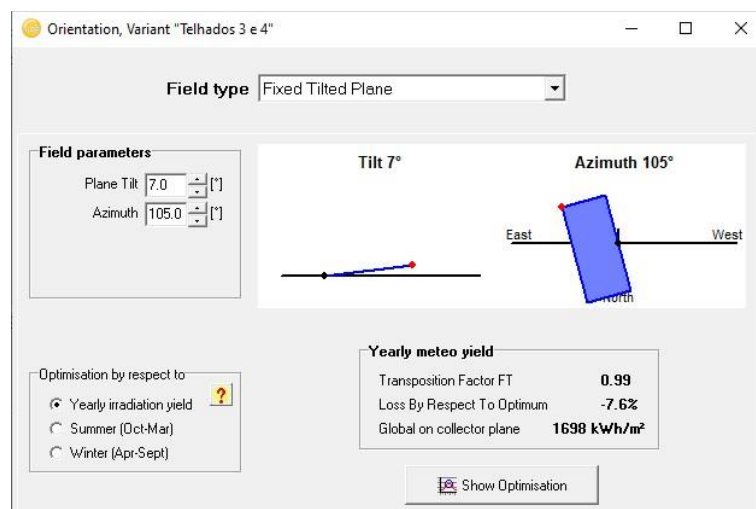


Figura 26. Simulação de irradiação para orientação contrária do telhado 4. Fonte: PVSYST, 2020.

Portanto, a análise entre as orientações dos telhados, mostra que a escolha trará a maior eficiência possível considerando os telhados disponíveis. Portanto, a partir dessa decisão, colocamos alguns *inputs* para o funcionamento do *software*, sendo eles a localização do prédio (latitude e longitude), área disponível nos telhados, tipo de inversor, tipo de placa, inclinação e azimute. O PVSYST fornece um relatório com todas as informações referentes ao projeto, incluindo o potencial de geração, valor em kWp (kilowatt-pico), que foram utilizados nas análises de fluxo de caixa. Em relação ao número total de módulos necessários para a instalação, é fornecido pelo *software* um total de 114 módulos fotovoltaicos.

Como citado anteriormente, O PVSYST também fornece os valores de PR para cada mês do ano. Estes valores estão representados aliados a temperatura ambiente de cada mês, também fornecida pela ferramenta na Figura 27, a seguir.

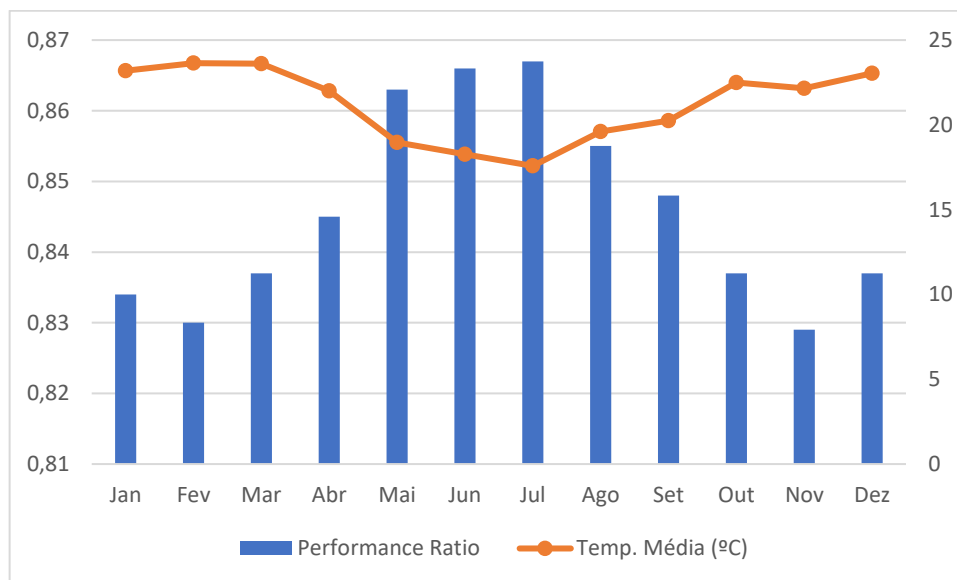


Figura 27. PR para cada mês do ano. Fonte: Adaptado de PVSYST (2020).

Analisando o gráfico, percebe-se a correlação entre a melhor performance dos módulos durante os meses mais frios do ano. Isso acontece, porque as placas têm maior eficiência a baixa temperatura devido a sua composição. Então, um módulo absorve menos calor em dias de inverno, assim a radiação chega ao módulo que está frio, trabalhando de maneira mais eficiente. Além disso, os valores obtidos estão acima de 80%, o que é um ótimo resultado, mostrando que a escolha dos telhados foi bem feita para a realização do projeto.

Além disso, como exemplificado anteriormente, é possível obter uma curva normalizada da produção de energia em kWh/kWp/dia, através dos dados fornecidos pelo *software*. A partir dos valores de Y_f , L_s e L_c foi construído um gráfico para mostrar como as perdas estão distribuídas. Estes valores, estão representados na Figura 28 a seguir.

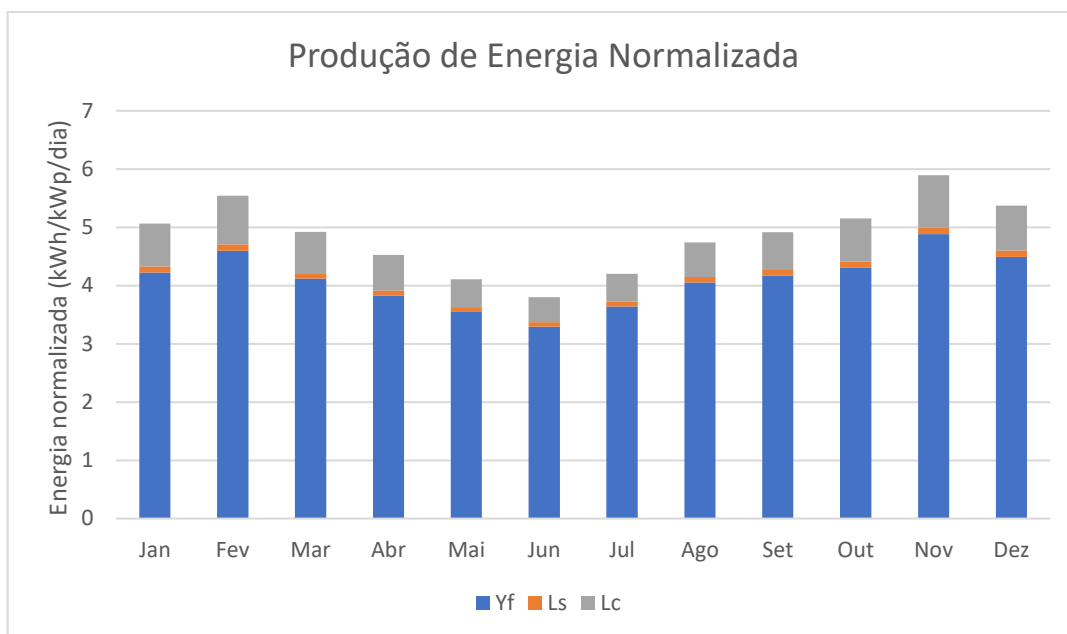


Figura 28. Produção de energia normalizada por mês. Fonte: Adaptado de PVSYST, 2020.

Percebe-se que há uma perda mais representativa no processo de obtenção da energia nos meses mais quentes, confirmando a perda de eficiência devido a temperatura. Além disso, observa-se que temos um ótimo inversor, devido ao valor pequeno para o Ls.

Alguns outros fatores também impactam o PR durante a vida útil das placas, conforme o tempo passa, os módulos vão perdendo efetividade, aumentando o valor do Lc, diminuindo o PR. Também terão de ser feitas manutenções e limpezas nas placas, alinhamento com o sistema de medição para quantificação da geração e as diferentes alturas do sol, que existem durante o ano, podem mudar esse valor.

Com relação ao FC, foi feita uma análise de sensibilidade em relação a influência da inclinação dos telhados na energia gerada, para confirmar a baixa efetividade de obras para arrumar a inclinação em sistemas de menor porte, dispensando obras. Estes valores estão apresentados na Tabela 10, a seguir.

Tabela 10. Fator de capacidade em função do grau de inclinação para os telhados 1 e 2. Fonte: Autoria Própria

Grau de Inclinação (°)	Energia Produzida (MWh)	Fator de Capacidade (%)
3	40,2	16,77
5	40,56	16,92
7	40,88	17,06
9	41,16	17,17
11	41,4	17,27
22	42,08	17,56

Essa análise foi feita para os telhados 1 e 2, porque o PR fornecido e o FC calculado para a orientação dos telhados 3 e 4 é muito similar. A variação entre a inclinação escolhida (7°) e a inclinação que deixou a geração máxima (22°) foi de 2,85%. Aumentando a geração dos telhados 3 e 4 nessa ordem de grandeza e colocando no fluxo de caixa, não houve alteração do *payback* em número de anos.

O valor de FC obtido é muito bom considerando um sistema de pequeno porte, porém a energia solar se comparada a outros tipos de energia, tem um FC muito baixo. No site da Usina de Itaipu (2020) existe um gráfico com o FC da geração dos últimos anos, estes valores estão representados na Figura 29 a seguir.

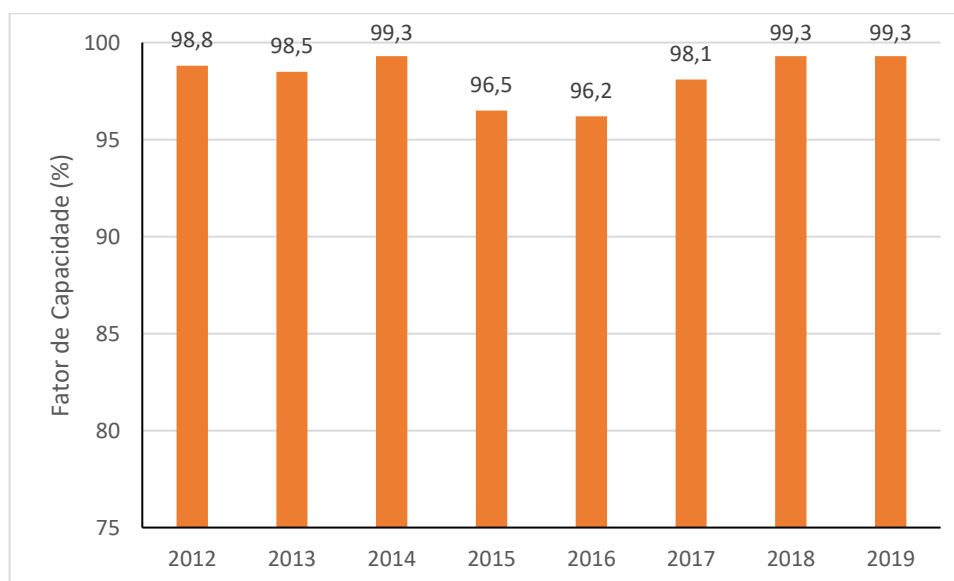


Figura 29. Fator de capacidade da Usina de Itaipu. Fonte: Adaptado do site da Usina de Itaipu, 2020.

Percebe-se uma grande diferença no valor de FC entre a geração solar e a de uma usina hidrelétrica, por exemplo. Isso acontece, pois a geração solar acontece apenas durante o dia, pois a noite não há irradiação solar.

É possível obter melhores valores de FC, quando se faz uma usina solar em solo, considerando que poderão ser feitas diversos ajustes para melhor captação da irradiação. Como citado durante a introdução, o ideal seria mudar a orientação e inclinação das placas todos os dias. Existem alguns rastreadores com 1 ou 2 eixos, que são instalados nos módulos, podendo aumentar muito mais a eficiência dos módulos.

O Operador Nacional do Sistema elétrico (ONS) fornece mensalmente um relatório sobre o FC obtido para as usinas que estão sob gestão do governo. Foram selecionadas para análise as usinas que estão em São Paulo e as de Minas Gerais. O estado de São Paulo foi selecionado, porque as regiões das usinas provavelmente apresentam irradiação mais próxima aos valores de Paulínia, se comparado a outros estados. E Minas Gerais foi escolhido por ser a região onde há a maior potência instalada de projetos solares no país, conhecida por uma boa irradiação. Estes valores estão representados na Tabela 11 a seguir.

Tabela 11. Fator de capacidade das Usinas brasileiras de Minas Gerais e São Paulo. Fonte: Adaptado do site da NOS, 2020.

Estado	Conjunto	Estrutura	FC estimado (%)	FC real (%)
MG	Paracatu	Fixa	25,8	21,0
MG	Pirapora	Rastreador 1 eixo	26,5	29,9
SP	Boa Hora	Fixa	24,6	15,6
SP	Dracena	Rastreador 1 eixo	21,9	20,6
SP	Guaimbê	Fixa	19,7	20,3
Média			2,77	2,70

Como observado, o Fator de Capacidade das usinas apresenta um valor muito mais elevado se comparado aos valores do projeto para o prédio administrativo da Solvay Paulínia. Além disso, percebe-se que as usinas com rastreador, há uma menor variação do FC se comparada as fixas. Além disso, as duas usinas com rastreadores apresentaram FC em 2019 maior do que o valor previsto em projeto.

5.2. Comparativo entre o preço teórico e orçamento de uma empresa.

A Greener, grande empresa de Pesquisa e Consultoria em energia solar, que possui como objetivo o desenvolvimento da energia solar no Brasil, realiza trimestralmente um estudo referente ao custo de energia de módulos fotovoltaicos baseado no kWp da instalação, considerando o preço final que chega ao consumidor, já considerando o valor dos módulos e a mão-de-obra do projeto. No seu último estudo semestral, obteve-se os resultados apresentados na Figura 30.

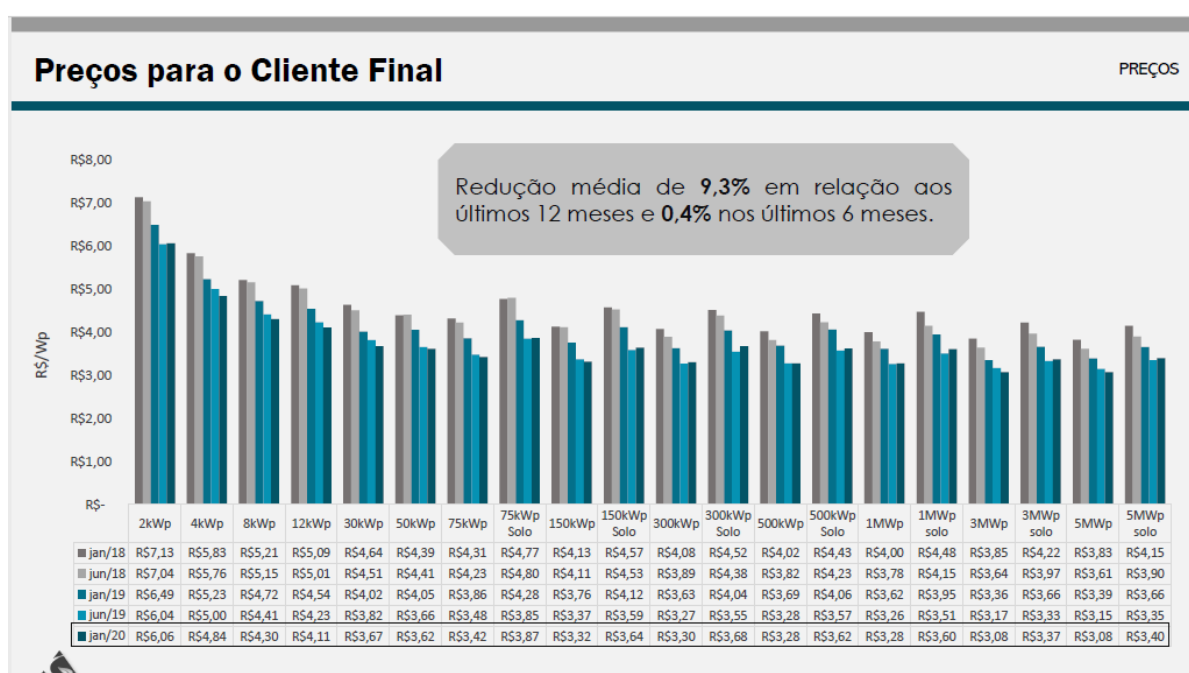


Figura 30. Preços para o cliente final de um projeto solar. Fonte: GREENER, 2020.

Considerando o tamanho do sistema, é possível afirmar que se encontra na faixa de 50 kWp. Realiza-se o produto entre o valor proposto (R\$3,62) por Wp e a nossa potência de geração, obtendo-se o valor estimado de R\$148.564,80 para esse sistema, conforme as condições analisadas.

A pesquisa da Greener traz também duas informações importantes para a nossa análise, considerando o preço teórico e o também enviado por uma empresa, pois nele também estão os módulos e inversores mais consumidos no Brasil, considerando-os para essa análise realizada pelo PVSYST e pela empresa contatada. Essas análises estão representadas nas Figuras 31 e 32.

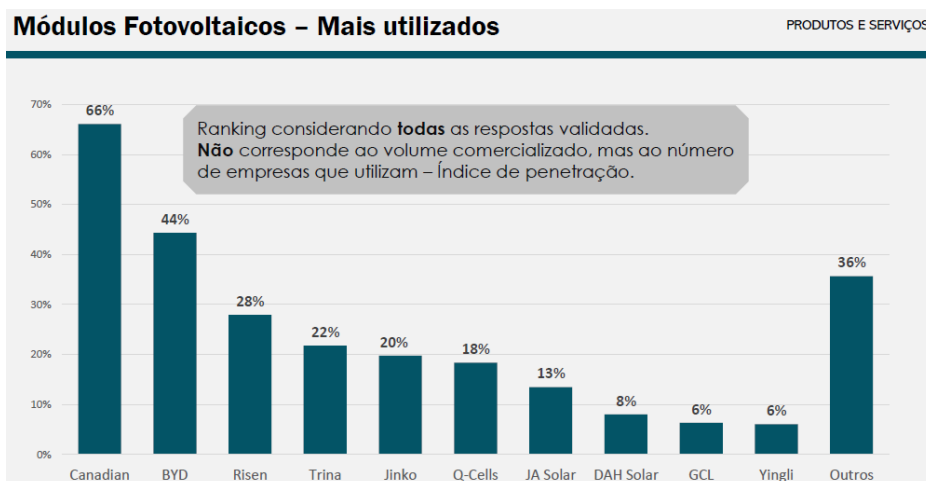


Figura 31. Módulos fotovoltaicos mais utilizados em instalações solares. Fonte: GREENER, 2020.

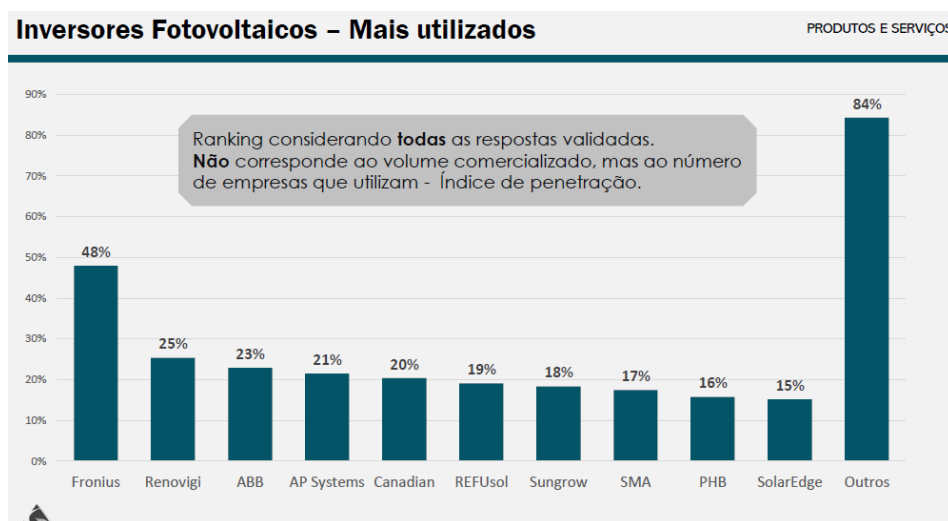


Figura 32. Inversores mais utilizados em instalações solares. Fonte: GREENER, 2020.

Ao analisar as Figuras 31 e 32, constata-se que a marca de módulo solar mais utilizada é da Canadian Solar, assim como o inversor mais utilizado é o da marca Fronius, utilizando-os como a referência de escolha para esse estudo. Com base nessas informações, tornou-se possível a execução do orçamento pela Solstício Energia, empresa de Campinas e fundada por ex-alunos da Unicamp, encaminhando-se um orçamento de R\$173.675,00. Este valor pode ser considerado bem similar ao que fora projetado pela Greener com base no estudo publicado no fim de 2019, em consequência da alta do dólar nos últimos meses, causando um aumento do preço dos módulos e inversores, pois, trata-se de produtos importados, sujeitos às variações cambiais.

5.3. Análise econômica e ambiental

A partir da definição da taxa de manutenção e de depreciação do sistema, é possível calcular o LCOE (*Levelized Cost of Energy*), ou seja, o custo preço da energia por MWh da geração solar para o valor teórico e do orçamento da Solstício Energia. Estes valores estão representados na Tabela 12, a seguir.

Tabela 12. Custo nivelado de Energia (LCOE). Fonte: Autoria Própria.

LCOE	Valor
Orçamento Estimado da Greener	R\$129,49/MWh
Orçamento Consultoria	R\$151,38/MWh

Para o cálculo do LCOE, foi considerado o preço do investimento mais o preço de manutenção, sobre a energia que será gerada durante 25 anos, considerando o decaimento de 0,5% ao ano de queda na geração. Esta metodologia de cálculo é apresentada no Portal Solar (2015), em uma análise fictícia de um projeto.

O quanto a Rhodia irá economizar por ano está na diferença do preço pago na energia e o quanto pagará para a geração de energia. O preço de energia para a geração já foi estimado para ambas as análises, porém para o preço da energia, precisamos considerar os reajustes tarifários, na parcela da distribuição, e o momento do momento do mercado livre, para prever como estará a curva de preços nos próximos anos. No caso da tarifa de distribuição, foi aprovado pela ANEEL (2020) no mês de junho, a conta Covid, para ajudar no caixa das distribuidoras que sofreram muito durante a pandemia. O empréstimo é de R\$16,1 bilhões para as distribuidoras pela CDE (Conta de Desenvolvimento Energético). A CDE é uma das componentes da tarifa de distribuição, como mostrado na Figura 33 a seguir.



Figura 33. Composição da TUSD encargos, na qual está presente a parcela CDE.

Com isso, os reajustes tarifários dos próximos 5 anos será maior valor do que o observado nos últimos anos, pois a conta desse empréstimo será repassada para os consumidores finais. Portanto, considerando o ano de 2020 o inicial do projeto, o valor deste reajuste será maior do que os 5,32% de 2019 para 2020, segundo a resolução homologatória da ANEEL (2020), já citadas anteriormente. Logo, para esta análise, considera-se um aumento de 8% até 2025 na distribuição e de 5,32% para o restante do projeto.

Para a energia, como tivemos uma queda da carga, segundo a ABRACEEL (2020), o preço de energia teve uma queda acentuada para os próximos anos, então consideramos uma queda no preço de 2% até 2025 e depois a volta de um aumento de 4%. Estes valores estão sintetizados na Tabela 13.

Tabela 13. Estimativa de Variação no preço da energia elétrica. Fonte: Autoria Própria.

Variação no preço de energia	Porcentagem
Energia - Reajuste até 2025	-2%
Energia - Reajuste após 2025	4%
Distribuição - Reajuste até 2025	8%
Distribuição - Reajuste após 2025	5,32%

Como citado anteriormente, o objetivo do projeto é atingir a autossuficiência do prédio em energia, entretanto segundo o relatório do PVSYST e da empresa consultada, o potencial de geração dos telhados escolhidos não é suficiente para suprir o PDC e o prédio administrativo. Como apresentado anteriormente, o consumo do prédio é de 62,12MWh e do PDC de 311,61MWh por ano, mas os potenciais de geração apresentados pelo PVSYST e pela empresa que nos fez um orçamento foi de 60,88MWh e 58,86MWh, respectivamente. Logo, para essa análise, foi considerado apenas o consumo do prédio administrativo, excluindo os *data centers*, pois então inicialmente se atingiria uma geração de aproximadamente 97% do total consumido pelo prédio no primeiro ano e 87% no último. Calculou-se o Fluxo de Caixa descontado conforme descrito na Metodologia e a Figura 34 representa a projeção avaliada.

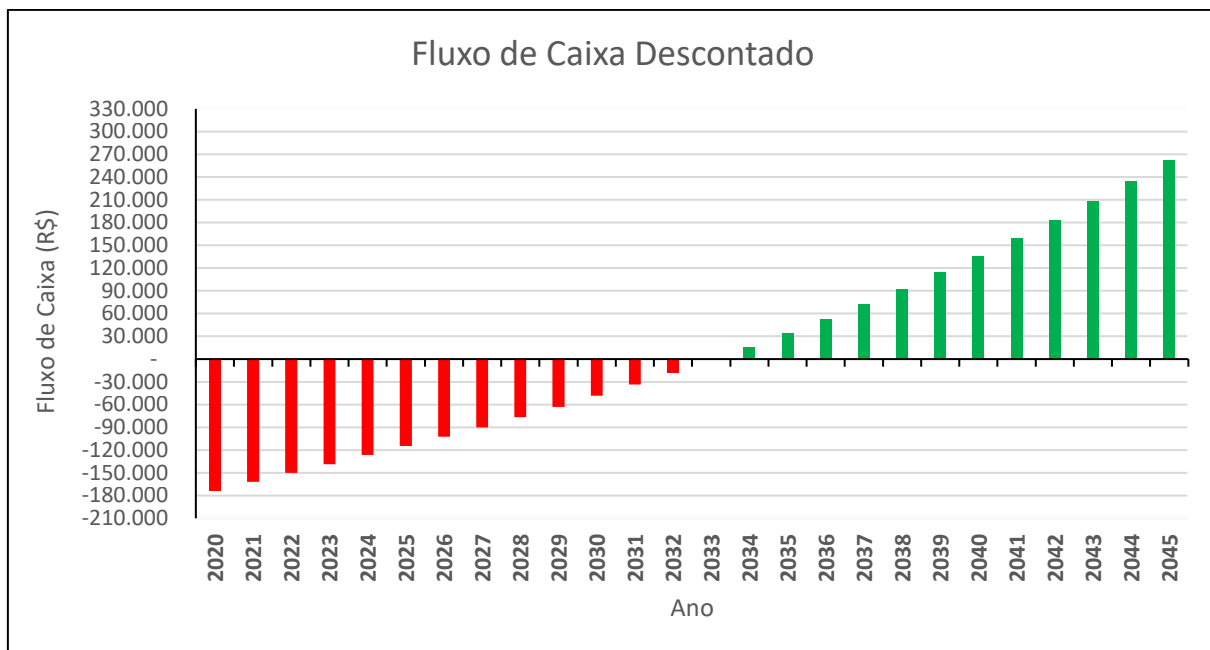


Figura 34. Fluxo de Caixa Descontado. Fonte: Autoria Própria.

A partir da análise do fluxo de caixa, percebemos que o *payback* é de 12 anos, ou seja, esse projeto apresenta um retorno de investimento longo, acima de 10 anos. Considerando-se o orçamento atual, fornecido pela empresa consultada, esse tempo de retorno aumenta para 14 anos.

Estipulou-se uma meta de *payback* nas primeiras análises desse projeto de 10 anos como cenário ideal, portanto, realizou-se uma análise de sensibilidade com os valores de investimento para ver o qual seria a queda necessária, para que o valor se enquadrasse nessa premissa. Baseado na figura 27, percebe-se que entre 2018 e 2020, tivemos uma queda de 17% no valor do preço de um projeto da ordem de 50kWp. Portanto, consideramos quais seriam os retornos, com as seguintes quedas no investimento apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14. Análise de sensibilidade de investimento. Fonte: Autoria Própria.

Queda no investimento	Valores	<i>Payback</i>
22%	R\$115.880,54	9 anos
17%	R\$123.308,78	10 anos
12%	R\$130.737,02	11 anos

Se continuarmos com essa evolução na queda dos preços, o investimento se tornaria viável em 2022. Porém, como mostrado anteriormente, os preços dos módulos solares têm subido durante a pandemia, devido à alta do dólar, o aumento da demanda mundial pela fonte de energia e a problemas na produção do Silício em grandes produtores chineses devido ao Coronavírus, portanto o ideal seria esperar essa situação se normalizar para definir se o investimento é válido. (Araújo e Badra, 2020)

Para a validação de um bom investimento, realizou-se o cálculo da TIR (Taxa interna de retorno e do VPL (Valor Presente Líquido), utilizando os valores do fluxo de caixa, considerando o histórico de reajustes tarifários, curva do mercado livre de energia e a TMA (Taxa Mínima de Atratividade) igual ao valor da Selic, que está 2,25% em Junho de 2020, segundo o Banco Central (2020). Estes valores estão representados na Tabela 15 a seguir.

Tabela 15. Parâmetros financeiros do projeto. Fonte: Autoria Própria.

Parâmetros de investimento	Valores
VPL (Valor Presente Líquido)	R\$ 178.406,10
TIR (Taxa Interna de Retorno)	12%

Confirma-se que a estimativa de *payback* está condizente com valores do VPL e a TIR. Para realizar uma comparação com o julho de 2019, quando a taxa Selic estava no patamar de 6,5%, reajustou-se o cálculo do VPL e, obteve-se um resultado de R\$ 46.147,96 para este parâmetro. Como estamos na baixa histórica da taxa, sendo o valor de 6,5% mais próximo da realidade do país, percebe-se que temos um investimento que não é muito rentável, porém há grandes ganhos na questão ambiental.

Em relação ao comparativo da emissão de gases de efeito estufa, é difícil realizar uma comparação entre os tipos de fontes utilizada pelo prédio e a solar, pois a Rhodia pode realizar a compra de diferentes fontes pelo mercado livre, além da energia recebida da UTE de biomassa em Brotas, que tem baixa emissão de CO₂, sendo uma fonte renovável de energia. Portanto, para compararmos diversas fontes, utilizamos um estudo que sintetiza diversas análises feitas por todo mundo, sobre o ciclo de vida para a produção de energia. (Amponsah et al. 2014)

Considerando a geração de 1434,09MWh em 25 anos, foi feito um comparativo entre o quanto cada fonte emitiria para a produção da mesma quantidade de energia. As fontes escolhidas e a emissão de CO₂ a cada MWh consumido estão representados na Tabela 16.

Tabela 16. Emissão de CO₂ por fonte. Fonte: Amponsah et al. 2014

Fonte	Emissão de CO₂ (kg de CO₂/MWh)	Emissão em 25 anos (kg de CO₂)
Solar	43,90	62.956,39
Biomassas (Mínimo)	79,2	113.579,64
Biomassas (Máximo)	237,6	340.738,91
Madeira (Mínimo)	54	77.440,66
Madeira (Máximo)	108	154.881,32
Carvão	975,2	1.398.520,98
Petróleo	742,1	1.064.235,46

Como apresentado na tabela anterior, percebe-se o quanto a energia solar representa na redução de emissão de gases. Porém, considerando as emissões da usina de Brotas, que vem da biomassa da cana e em alguns momentos do ano da madeira, percebe-se que a queda é de no mínimo 19%, considerando o menor valor encontrado da madeira e de 81%, considerando o máximo encontrado para biomassas em geral. Existem alguns certificados para redução de emissão de gases no mercado para um cálculo exato dessa redução, o ideal seria ser auxiliado por uma consultoria para a validação dessa redução já que este seria o objetivo principal da empresa no investimento.

5.4. Oportunidades futuras para energia solar no Brasil

Segundo o MME, Ministério de Minas e Energia (2018), existem dois modelos de preços que balizam a negociação das sobras e excedentes mensais de energia de cada consumidor. O modelo atual é o preço da liquidação das diferenças, o PLD. Existem dois modelos computacionais que fazem certas considerações, como carga de energia no setor elétrico, previsão de chuvas e outras variáveis, para prever o preço

da energia. Os modelos computacionais utilizados para esse cálculo são o NEWAVE, para médio prazo (horizonte de 5 anos) e o DECOMP para curto prazo (horizonte de duas semanas).

Porém, em abril de 2018, a CCEE (2018) passou a realizar a operação sombra para finalmente implementar o PLD horário que já havia sido regulado em 2000, através da Resolução ANEEL nº290. Esse modelo busca cobrar valores diferenciados para cada horário do dia, tentando tornar os preços mais justos para cada momento. No modelo do PLD atual, há uma separação de preços nos patamares leve, médio e pesado, porém com o PLD horário teremos um valor para cada hora.

A previsão de entrada desse modelo é em 2021 e pode alavancar ainda mais o desenvolvimento da geração solar. O motivo disso é que nessa nova estrutura de patamares, no qual os picos de preços são similares aos picos de geração solar no Brasil. Portanto, a fonte além de aliviar o sistema, devido a sua produção de energia limpa poupando o acionamento de térmicas, poderá também trazer mais economia e rentabilidade aos investidores, o que poderá fazer com que a geração solar faça mais sentido para o mercado livre (Haratz, 2019).

6. CONCLUSÃO

6.1. Conclusão sobre o projeto

A partir do fluxo de caixa, obtém-se que o *payback* é de 12 anos, considerando o investimento inicial obtido através dos estudos da Greener e do PVSYST. Considerando a queda que tivemos entre 2018 e 2020 para os sistemas de 50kWp, temos que em 2022, o investimento terá retorno de 10 anos, como foi proposto inicialmente no nosso projeto.

Com relação a questão ambiental, a redução de emissão de gases poderia variar de 18% a 81% dependendo da fonte considerada, de acordo com estudo utilizado. Como o fator motivador do projeto é a redução da emissão de gases do efeito estufa, essa consideração seria de suma importância por parte da Rhodia e da empresa contratada para a realização do projeto, pois a obtenção de um certificado que ateste essa redução é de grande importância.

Com relação ao rendimento dos módulos fotovoltaicos, percebe-se pelas perdas referente aos inversores e módulos, que a combinação entre as placas da Canadian Solar e do inversor da Fronius são uma ótima combinação, porém são equipamento mais caros se comparados a outros. Em relação ao FC, é possível afirmar que a energia solar possui um rendimento muito baixo se comparado as

Considerando os dados apresentados, percebe-se que o investimento em energia solar para empresas que já estão no mercado livre de energia tem grande diferença para empresas do mercado cativo conectados à média tensão e consumidores de baixa tensão (residenciais e pequenos negócios).

Os consumidores do mercado cativo estão com preços de energia fixados pelas distribuidoras locais, sem margem à negociação, além de estarem expostos ao acionamento de bandeiras tarifárias, devido ao despacho de usinas com o preço de energia mais elevado. Já os consumidores do mercado livre de energia, podem negociar a parcela de energia, fazendo com que as empresas possuam um valor já reduzido nas suas faturas. No caso da Rhodia, existem diversos fatores que influenciam diretamente nesse custo. Por ser uma grande empresa com autoprodução de energia, isso reduz mais ainda esse valor. Portanto, devido a essa quantidade de

ações tomadas pela empresa na busca de redução de custos, o investimento em energia solar acaba sendo prolongado se comparado ao do mercado cativo.

No comparativo entre o preço do orçamento teórico do final de 2019 e preço ofertado pela empresa contatada, percebe-se que o dólar ainda tem grande influência nesse mercado pois os módulos fotovoltaicos são importados de outros países, o que transforma a energia solar numa energia cara se comparada ao valor ofertado a Rhodia e outras empresas presentes no mercado livre.

Na última resolução publicada pela ANEEL no reajuste da CPFL Paulista, também está a informação do preço de energia pago por consumidores de baixa tensão, grupo B3 comercial. Este valor está em torno de R\$ 744,10 por MWh na bandeira verde, considerando que não há restituição dos impostos (PIS, CONFINS e ICMS), outro diferencial que a Rhodia também tem por estar na classe industrial, podendo restituir esses valores.

Portanto, percebe-se que o valor pago no MWh para consumidores cativos é muito maior do que o de um consumidor livre, então o retorno no investimento solar é muito mais rentável do que para uma empresa do porte da Rhodia.

Durante os últimos anos, tivemos um grande crescimento da energia solar e o motivo é da resolução nº482/2012, iniciando a geração distribuída, que é a possibilidade de compartilhar energia com outras unidades do mesmo CPF ou CNPJ da unidade consumidora onde está a geração, além da geração de créditos de energia que podem ser utilizados em meses de consumo acima da geração. Com isso, muitas empresas passaram a realizar essas instalações e empresas também passaram a se interessar pelo investimento, porém um estudo detalhado e levando em conta a particularidade de cada consumidor mostra que para certas empresas não se mostra um rápido retorno no investimento.

6.2. Sugestão de melhoria no projeto

Percebeu-se pela avaliação do projeto que o modelo de geração em telhado pode não ser o mais atrativo para a Rhodia. Os próximos projetos poderiam ser relacionados a uma usina solar em solo, pois é possível aliar a maximização da geração com uma instalação maior, que pode ter outros tipos de incentivos e investimentos. As instalações em telhados são muito limitadas e no caso do prédio

administrativo não traz uma geração relevante, principalmente se ainda for considerado o *data center* que também fica instalado no prédio.

Outra questão pertinente para uma futura avaliação seria comparar o perfil de consumo energético dos prédios administrativos com a geração de energia ao longo do ano, espera-se que o consumo de energia referente ao PDC seja constante ao decorrer do ano, entretanto essa mesma premissa não deve ser levada em conta para avaliar o consumo predial, que tende a ser mais elevado nos meses quentes devido ao maior uso de ar-condicionado, portanto esse comparativo forneceria informações mais apuradas sobre geração e consumo, impactando diretamente no fluxo de caixa do projeto.

Considerando também o atual momento econômico brasileiro, com a alta do dólar, percebe-se um grande aumento no valor da instalação dos painéis, pois estes são importados. Uma situação de baixa no dólar, além de novos incentivos à energia, como os citados na seção 5.2, podem se mostrar uma oportunidade futura, porém no atual momento ainda é complicado pensar em um projeto solar com um rápido retorno para a Rhodia em instalações em telhados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.) Abraceel. **Abraceel comenta queda de preço no mercado livre de energia para segundo trimestre.** Brasília, 2020. Disponível em: <<https://abraceel.com.br/blog/2020/03/abraceel-comenta-queda-de-preco-no-mercado-livre-de-energia-para-segundo-trimestre/>>. Acesso em 21 de jun. 2020.
- 2.) Abraceel. **CARTILHA MERCADO DE ENERGIA ELETRICA ABRACEEL.** Um guia básico para consumidores potencialmente livres e especiais. Brasília, 2016. Disponível em: <https://www.abraceel.com.br/archives/files/Abraceel_Cartilha_MercadoLivre_V9.pdf>. Acesso em: 20 de mar. 2020.
- 3.) ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Infográfico ABSOLAR.** São Paulo, SP, 2020. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/infografico-absolar.html>>. Acesso em: 17 de mar. 2020.
- 4.) AMPONSAH, Nana Yaw et al. **Greenhouse gas emissions from renewable energy sources: A review of lifecycle considerations.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol 39, p. 461-475. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114005395>>. Acesso em: 4 de ago. 2020.
- 5.) ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **ANEEL regulamenta conta covid para injetar liquidez no setor e amortecer aumento nas tarifas.** Brasil, 2020. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/todas-as-noticias/-/asset_publisher/pdAS9lCdBICN/content/aneel-regulamenta-conta-covid-para-injetar-liquidez-no-setor-e-amortecer-aumento-nas-tarifas>. Acesso em: 15 de jun. 2020.
- 6.) ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Cadernos Temáticos ANEEL - Micro e Minigeração Distribuída: sistema de compensação de energia elétrica.** Brasília, DF: ANEEL, 2016. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>>. Acesso em: 22 de mar. 2020.
- 7.) ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Covid 19: ANEEL suspende por 90 dias aplicação de reajustes de distribuidoras de SP, MS e MT.** Brasília, DF. 2020. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/covid-19-aneel-suspende-por-90-dias-aplicacao-de-reajustes-de-distribuidoras-de-sp-ms-e-mt/656877?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fsala-de-imprensa-exibicao%2Fp_p_id%3D101_INSTANCE_zXQREz8EVIZ6%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D3>. Acesso em: 19 de abr. 2020.

- 8.) ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Definição dos agentes.** Brasília, DF. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=41&idPerfil=2>>. Acesso em: 16 de abr. 2020.
- 9.) ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Geração Distribuída.** Brasília, DF. 2018. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: 7 de abr. 2020.
- 10.) ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Modalidades Tarifárias.** Brasília, DF. 2015. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/-/asset_publisher/zNaRBjCLDgbE/content/modalidade/654800>. Acesso em: 1 de mai. 2020.
- 11.) ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Homologatória Nº 2526, de 2 de Abril de 2019.** Homologa o resultado do Reajuste Tarifário Anual de 2019, as Tarifas de Energia – TE e as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD referentes à Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL Paulista, e dá outras providências. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20192526ti.pdf>>. Acesso 15 de mai. 2020.
- 12.) ANEEL - Agência Nacional De Energia Elétrica. **Resolução Normativa 687, de 24 de novembro de 2015,** a qual altera a Resolução Normativa 482, de 17 de abril de 2012. Brasília: Diário Oficial da União, 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2019.
- 13.) ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa 482, de 17 de abril de 2012,** a qual estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2019.
- 14.) ARAÚJO, Ericka; BADRA, Mateus. **Baixa oferta e alta demanda pressionam alta dos preços dos módulos fotovoltaicos globalmente.** Canal Solar, 2020. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/noticias/item/793-baixa-oferta-e-alta-demanda-pressionam-alta-dos-precos-dos-modulos-fotovoltaicos-globalmente>>. Acesso em: 4 ago. 2020.
- 15.) ARSESP – Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo. **Área de Concessão de Distribuição de Energia Elétrica.** São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://www.arsesp.sp.gov.br/Documentosgerais/Mapa-Energia-2017.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2020.
- 16.) BORGES, Leandro. **O que é e Como Calcular a Taxa Interna de Retorno (TIR).** 2013. Disponível em: <<https://blog.luz.vc/o-que-e/taxa-interna-de-retorno-tir/>>. Acesso em: 14 de mai. 2018.
- 17.) BRASIL. **Banco Central.** Governo Federal, Brasília. 2020. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/>>. Acesso em: 24 de jun. 2020.

- 18.) BRASIL. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro**. Brasília: Ministério de Minas e Energia. Março de 2020. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/energia_eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico/1004>. Acesso em: 20 de mar. 2020.
- 19.) Brasil. **Lei Nº 9074, de 7 de Julho de 1995**. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9074cons.htm>. Acesso em: 16 de mai. 2020
- 20.) BRASIL. **Perguntas Frequentes**. Grupo de Trabalho de Metodologia da CPAMP – GT Met. Brasília. Ministério de Minas e Energia. 2018. <http://www.mme.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=4072a819-29a9-001d-1a6d-d4aaacaad035&groupId=36070#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20o%20Pre%C3%A7o,leve%2C%20m%C3%A9dio%20ou%20pesado>. Acesso em: 17 de jun. 2020
- 21.) Brasil. **Portaria Nº 465, de 12 de dezembro de 2019**. Ministério de Minas e Energia. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/todas-as-noticias/-/asset_publisher/pdAS9lcdBICN/content/modernizacao-do-setor-eletrico-mme-publica-portaria-que-altera-os-limites-para-contratacao-de-energia-eletrica-por-consumidores/pop_up?_101_INSTANCE_pdAS9lcdBICN_viewMode=print&_101_INSTANCE_pdAS9lcdBICN_languageId=pt_BR>. Acesso em: 15 de abr. 2020.
- 22.) Brasil. **Portaria Nº 514, de 27 de dezembro de 2018**. Ministério de Minas e Energia. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/57219064/do1-2018-12-28-portaria-n-514-de-27-de-dezembro-de-2018-57218754>. Acesso em: 3 de mai. 2020.
- 23.) CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **CO - CCEE disponibiliza patamares de carga sombra**. 2018. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/noticias-opiniao/comunicados/detalhe_comunicado?contentId=CCEE_643225&_afLoop=242681268080266&_adf.ctrl-state=kp8uxhmyb_75#!%40%40%3F_afLoop%3D242681268080266%26contentId%3DCCEE_643225%26_adf.ctrl-state%3Dkp8uxhmyb_79>. Acesso em: 20 de jun. 2020.
- 24.) CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **InfoMercado – Dados Individuais – 2020 (xlsx)**. Maio de 2020. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/infomercado?showFlag=F&_adf.ctrl-state=lebiuhn6r_1&_afLoop=218157852256725#!%40%40%3F_afLoop%3D218157852256725%26showFlag%3DF%26_adf.ctrl-state%3Dlebiuhn6r_5>. Acesso em: 7 de mai. 2020.

- 25.) CMU Energia. **Saber mais sobre o mercado de energia**. 2020. Disponível em: <<http://www.cmuenergia.com.br/site/SaberMais>>. Acesso em: 8 de abr. 2020.
- 26.) DA CUNHA KEMERICH, Pedro Daniel et al. **Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 20, n. 1, p. 241-247, 2016. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/Reget/article/view/16132/pdf>>. Acesso em: 10 de mar. 2020
- 27.) DA SILVA BIÂNGULO, Lorrane Stephanie; DA SILVA, Lucas Rodrigues. **Estudo da viabilidade econômica da energia solar ara a oferta de energia no setor residencial do Distrito Federal**. Revista interdisciplinar de pesquisa em engenharia, Brasília, v. 1. n. 2, 2015. Disponível em: <<http://periodicos.unb.br/index.php/ripe/article/view/17713>>. Acesso em: 19 de mar. 2020.
- 28.) DUNLAP, Richard A. **Sustainable energy**. Cengage Learning. Edição SI. Canadá. 2014.
- 29.) FERREIRA, Ramiro Gomes. **Valor Presente Líquido: o que é o VPL e por que isso é importante para os seus investimentos?** 2017. Disponível em: <<https://hcinvestimentos.com/2017/01/17/valor-presente-liquido/>>. Acesso em: 13 de mai. 2018.
- 30.) GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energia e meio ambiente no Brasil**. Estudos avançados, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007.
- 31.) GOMES, Wedja Maria Barbosa et al. **Potencialidades e desafios das energias renováveis para o desenvolvimento sustentável: uma análise do programa de certificação de energia renovável no Brasil**. 2018.
- 32.) GREENER. **Estudo Estratégico: Mercado Fotovoltaico de Geração distribuída - 4º Trimestre de 2019**. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/pesquisas-de-mercado/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-de-geracao-distribuida-4o-trimestre-de-2019/>>. Acesso em: 10 de jun. 2020.
- 33.) HARATZ, Marcel. **Energia solar é nova aposta do mercado livre de energia, dizem especialistas**. 2019. <Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/energia-solar-e-nova-aposta-do-mercado-livre-de-energia-dizem-especialistas.html>>. Acesso em 23 de jun. 2020.
- 34.) IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Variability of wind power and other renewables - management options and strategies**. Paris: OECD, 2005
- 35.) IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World energy outlook 2015**. Paris: OECD, 2015.
- 36.) IEA, **Data and Statistics**. Paris: OECD, 2019. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=WORLD&energy=Balances&year=2017>>. Acesso em: 1 de ago. 2020.

- 37.) IEA, **Installed power generation capacity by source in the Stated Policies Scenario**, 2000-2040, IEA, Paris. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/installed-power-generation-capacity-by-source-in-the-stated-policies-scenario-2000-2040>>. Acesso em: 6 de abr. 2020.
- 38.) IEA, **Renewables Information 2019**, IEA, Paris, 2020. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/renewables-information-2019>>. Acesso em: 30 de mar. 2020.
- 39.) Itaipu. **Fator de Capacidade Operativa**. Brasil, 2020. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/energia/fator-de-capacidade-operativa>>. Acesso em: 1 de ago. 2020
- 40.) Lazard. **Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis**, v 12.0, p.8. 2018. Disponível em: <<https://www.lazard.com/media/450784/lazards-levelized-cost-of-energy-version-120-vfinal.pdf>>. Acesso em: 1 de ago, 2020.
- 41.) MARTINA, Jeovane Bet et al. **Estratégias e mecanismos econômicos para inserção de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída na matriz elétrica brasileira**. 2018.
- 42.) MAUAD, Frederico Fábio; FERREIRA, L. C.; TRINDADE, Tatiana Costa Guimarães. **Energia Renovável no Brasil. Análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras**. Disponível em: <<http://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/view/168/154/740-1,2017>>. Acesso em: 11 de abr. 2020.
- 43.) MIRANDA, Gabriela Veras Lima. **Modelos de negócios de geração distribuída com plantas fotovoltaicas**. 2019.
- 44.) NOBLE, Bram; Nwanekezie, Kelechi. Conceptualizing strategic environmental assessment: Principles, approaches and research directions. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 62, p. 165-173, 2017.
- 45.) ONS. **Boletim Mensal de Geração Solar Fotovoltaica**. Abril de 2020. Brasil. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Boletim%20Mensal%20de%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Solar%202020-04.pdf>> Acesso em 1 de ago. 2020.
- 46.) PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: Inpe, 2006.
- 47.) Portal Solar. **Como Funciona a Energia Solar**. 2020. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-energia-solar.html#:~:text=A%20energia%20solar%20fotovoltaica%20funciona,%C3%A9%20distribu%C3%ADa%20para%20o%20local>> Acesso em: 14 de jul. 2020
- 48.) Portal Solar. **Como reduzir o custo de energia em uma empresa**. 2015. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/como-reduzir-o-custo-de-energia-em-uma-empresa.html>>. Acesso em: 18 de jun. 2020.

- 49.) Portal Solar. **Energia Solar fotovoltaica atinge 1 Gigawatt em geração distribuída no Brasil.** 2019. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/energia-solar-fotovoltaica-atinge-1-gigawatt-em-geracao-distribuida-no-brasil.html>>. Acesso em: 17 de out. 2019.
- 50.) Portal Solar. **Quanto tempo duram os painéis solares.** 2015. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/painel-solar/quanto-tempo-duram-os-paineis-solares-.html>>. Acesso em: 14 de jul. 2020
- 51.) SIGA - **Sistema de Informações de Geração da ANEEL.** Brasil, 2020. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaNjc4OGYyYjQtYWZWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>>. Acesso em: 1 de abr. 2020.
- 52.) SMA Solar Technology AG. **Performance Ratio.** Factor de qualidade para o sistema fotovoltaico. Alemanha, 2015.
- 53.) TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Novo modelo do setor elétrico brasileiro.** Synergia, 2011.
- 54.) VILLALVA, Marcelo Gradella. **Vale a pena ajustar a angulação dos módulos solares nos telhados?** Canal Solar. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://www.canalsolar.com.br/index.php/artigos/artigos-tecnicos/item/99-vale-a-pena-ajustar-a-angulacao-dos-modulos-solares-nos-telhados>>. Acesso em: 26 de mai. 2020.
- 55.) VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia solar fotovoltaica—Conceitos e Aplicações.** São Paulo. 2ª edição, 2012.
- 56.) VILLALVA, Marcelo Gradella; MOREIRA, Hugo Soeiro **Entendendo o efeito das sombras parciais nos sistemas fotovoltaicos.** Canal Solar. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://www.canalsolar.com.br/index.php/artigos/artigos-tecnicos/item/99-vale-a-pena-ajustar-a-angulacao-dos-modulos-solares-nos-telhados>>. Acesso em: 29 de mai. 2020

Anexos

A. TABELAS

Tabela A.1. Consumo do Prédio Administrativo da Rhodia. Fonte: Rhodia, 2020.

Data	Hora	Potência Ativa (kW)
29/04/2020	13:33:01	25,5
29/04/2020	13:34:01	28,68
29/04/2020	13:35:01	31,32
29/04/2020	13:36:01	30
29/04/2020	13:37:01	28,14
29/04/2020	13:38:01	28,56
29/04/2020	13:39:01	31,68
29/04/2020	13:40:01	32,28
29/04/2020	13:41:01	30,84
29/04/2020	13:42:01	28,2
29/04/2020	13:43:01	27,96
29/04/2020	13:44:01	27,96
29/04/2020	13:45:01	30,6
29/04/2020	13:46:01	30,84
29/04/2020	13:47:01	31,2
29/04/2020	13:48:01	29,34
29/04/2020	13:49:01	29,52
29/04/2020	13:50:01	29,46
29/04/2020	13:51:01	29,46
29/04/2020	13:52:01	29,28
29/04/2020	13:53:01	26,88
Média	-	29,41

Tabela A.2. Consumo do PDC da Rhodia. Fonte: Rhodia, 2020.

Data	Hora	Potência Ativa (kW)
29/04/2020	10:41:35	30,96
29/04/2020	10:42:35	36,36
29/04/2020	10:43:35	39
29/04/2020	10:44:35	40,68
29/04/2020	10:45:35	37,2
29/04/2020	10:46:35	31,08
29/04/2020	10:47:35	30,84
29/04/2020	10:48:35	32,22
29/04/2020	10:49:35	34,38
29/04/2020	10:50:35	37,8
29/04/2020	10:51:35	33,3
29/04/2020	10:52:35	30,3
29/04/2020	10:53:35	32,4
29/04/2020	10:54:35	36,84
29/04/2020	10:55:35	40,2
29/04/2020	10:56:35	40,2
29/04/2020	10:57:35	37,38
29/04/2020	10:58:35	35,76
29/04/2020	10:59:35	31,56
29/04/2020	11:00:35	30,42
29/04/2020	11:01:35	34,08
Média	-	34,90

Tabela A.3. Eficiência da geração dos módulos (Telhados 1 e 2). Fonte: Autoria Própria.

Meses	PR	T (°C)	Eabs (MWh)	Eútil (MWh)	Enom (MWh)	Yf	Ls	Lc
Jan	0,834	23,19	3,67	3,58	5,07	4,224	0,103	0,738
Fev	0,83	23,64	3,61	3,52	5,54	4,600	0,108	0,834
Mar	0,837	23,61	3,57	3,49	4,92	4,117	0,097	0,705
Abr	0,845	22	3,21	3,14	4,53	3,826	0,089	0,613
Mai	0,863	18,97	3,08	3,01	4,11	3,547	0,083	0,480
Jun	0,866	18,27	2,77	2,70	3,80	3,293	0,078	0,432
Jul	0,867	17,58	3,16	3,09	4,20	3,641	0,084	0,475
Ago	0,855	19,61	3,52	3,44	4,74	4,053	0,094	0,593
Set	0,848	20,25	3,50	3,42	4,91	4,167	0,099	0,648
Out	0,837	22,49	3,74	3,66	5,15	4,312	0,101	0,738
Nov	0,829	22,15	4,10	4,01	5,89	4,885	0,115	0,893
Dez	0,837	23,04	3,90	3,81	5,37	4,496	0,105	0,771

Tabela A.4. Fluxo de caixa descontado. Fonte: Autoria própria.

	Ano	Geração	Economia	Manutenção	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa acumulado	% de suprimento solar do prédio	Preço TUSD Demanda	Preço TE
2020	0	-	-	-	-R\$ 148.564,80	-148.565	-	-	-
2021	1	62,65	R\$ 13.833,75	R\$ 1.485,65	R\$ 12.348,10	-136.217	101%	59,01	161,8
2022	2	62,34	R\$ 13.857,14	R\$ 1.485,65	R\$ 12.371,49	-123.845	100%	63,7308	158,564
2023	3	62,03	R\$ 13.907,38	R\$ 1.485,65	R\$ 12.421,74	-111.423	100%	68,829264	155,39272
2024	4	61,71	R\$ 13.985,87	R\$ 1.485,65	R\$ 12.500,22	-98.923	99%	74,33560512	152,2848656
2025	5	61,41	R\$ 14.094,09	R\$ 1.485,65	R\$ 12.608,44	-86.315	99%	80,28245353	149,2391683
2026	6	61,10	R\$ 14.233,67	R\$ 1.485,65	R\$ 12.748,02	-73.567	98%	86,70504981	146,2543849
2027	7	60,79	R\$ 14.798,64	R\$ 1.485,65	R\$ 13.312,99	-60.254	98%	91,31873997	152,1045603
2028	8	60,49	R\$ 15.386,61	R\$ 1.485,65	R\$ 13.900,96	-46.353	97%	96,17793068	158,1887427
2029	9	60,19	R\$ 15.998,54	R\$ 1.485,65	R\$ 14.512,89	-31.840	97%	101,2956853	164,5162924
2030	10	59,89	R\$ 16.635,43	R\$ 1.485,65	R\$ 15.149,78	-16.690	96%	106,6857625	171,0969441
2031	11	59,59	R\$ 17.298,33	R\$ 1.485,65	R\$ 15.812,68	-878	96%	112,3626527	177,9408219
2032	12	59,29	R\$ 17.988,32	R\$ 1.485,65	R\$ 16.502,67	15.625	95%	118,3416178	185,0584548
2033	13	58,99	R\$ 18.706,55	R\$ 1.485,65	R\$ 17.220,90	32.846	95%	124,6387315	192,460793
2034	14	58,70	R\$ 19.454,19	R\$ 1.485,65	R\$ 17.968,54	50.815	94%	131,270923	200,1592247
2035	15	58,40	R\$ 20.232,48	R\$ 1.485,65	R\$ 18.746,84	69.561	94%	138,2560221	208,1655937
2036	16	58,11	R\$ 21.042,72	R\$ 1.485,65	R\$ 19.557,07	89.119	94%	145,6128075	216,4922174
2037	17	57,82	R\$ 21.886,24	R\$ 1.485,65	R\$ 20.400,59	109.519	93%	153,3610572	225,1519061
2038	18	57,53	R\$ 22.764,45	R\$ 1.485,65	R\$ 21.278,80	130.798	93%	161,5216015	234,1579824
2039	19	57,24	R\$ 23.678,80	R\$ 1.485,65	R\$ 22.193,16	152.991	92%	170,1163792	243,5243017
2040	20	56,96	R\$ 24.630,84	R\$ 1.485,65	R\$ 23.145,19	176.136	92%	179,1684963	253,2652737
2041	21	56,67	R\$ 25.622,14	R\$ 1.485,65	R\$ 24.136,49	200.273	91%	188,7022885	263,3958847
2042	22	56,39	R\$ 26.654,37	R\$ 1.485,65	R\$ 25.168,73	225.441	91%	198,7433864	273,9317201
2043	23	56,11	R\$ 27.729,27	R\$ 1.485,65	R\$ 26.243,62	251.685	90%	209,3187843	284,8889889
2044	24	55,83	R\$ 28.848,63	R\$ 1.485,65	R\$ 27.362,99	279.048	90%	220,4569132	296,2845484
2045	25	55,55	R\$ 30.014,35	R\$ 1.485,65	R\$ 28.528,71	307.577	89%	232,1877166	308,1359304