

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA NA UTILIZAÇÃO DE SISTEMA
FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE PARA A MINERAÇÃO DE BITCOIN

por

Bruno Soares Portilho

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, abril de 2023

CIP - Catalogação na Publicação

Portilho, Bruno Soares
Estudo de Viabilidade Econômica na Utilização de
Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede para a
Mineração de Bitcoin / Bruno Soares Portilho. -- 2023.
29 f.
Orientadora: Letícia Jenisch Rodrigues.

Coorientador: Marcelo Schramm.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto
Alegre, BR-RS, 2023.

1. Módulo Fotovoltaico. 2. Sistema Fotovoltaico
Conectado à Rede (SFCE). 3. Potencial Solar no Brasil.
4. Mineração de Bitcoin. 5. Tarifas Energéticas no
Brasil. I. Rodrigues, Letícia Jenisch, orient. II.
Schramm, Marcelo, coorient. III. Título.

Bruno Soares Portilho

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA NA UTILIZAÇÃO DE SISTEMA
FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE PARA A MINERAÇÃO DE BITCOIN

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Cirilo Seppi Bresolin
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Áreas de concentração: Energia e Fenômenos de Transporte

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Leticia Jenisch Rodrigues (UFRGS)

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Schramm (UFPel)

Comissão de Avaliação:

Prof^ª. Dr^ª. Leticia Jenisch Rodrigues (Presidente)

Prof. Dr. Felipe Roman Centeno

Prof^ª. Dr^ª. Simone Ramires

Porto Alegre, abril de 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço por ter Deus em minha vida e por ter o amor e o apoio incondicional da minha esposa, Del. Eles são a força que me impulsiona a seguir em frente, mesmo diante dos desafios mais difíceis.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – 2023

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA NA UTILIZAÇÃO DE SISTEMA FOTVOLTAICO CONECTADO À REDE PARA A MINERAÇÃO DE BITCOIN

Portilho, Bruno Soares

bruno-soares@outlook.com

Resumo. O artigo discute uma metodologia para viabilizar mineração de Bitcoin no Brasil utilizando uma instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) que é limitado por uma área de 20 m², com seis cidades brasileiras como exemplo, não atendendo 100% da demanda energética do processo de mineração. É levado em consideração as condições e custos de instalação do SFCR e do investimento no minerador de Bitcoin. Busca-se o ponto ótimo da instalação nas cidades para reduzir os custos e obter um retorno do investimento em menor tempo. Para isso, considerou-se vários cenários de operação com os dois diferentes tipos de custos de energia elétrica fornecidos pela concessionária, os quais são a tarifa convencional e a tarifa branca. Conclui-se que a utilização de um SFCR torna a mineração rentável nas cidades avaliadas, mediante cenário de operação adequado. Contudo, o tempo de retorno do investimento é elevado pelo fato da operação não poder ocorrer durante 24h por dia, devido às altas tarifas de energia no Brasil. Assim, questiona-se a utilização do SFCR que não atenda 100% da demanda, pois, se atender, a receita líquida aumentará e o tempo de retorno de investimento diminuirá, mitigando a exposição aos riscos econômicos do processo.

Palavras-chave: Módulo Fotovoltaico, Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR), Potencial Solar no Brasil, Mineração de Bitcoin, Tarifas Energéticas no Brasil

Economic feasibility study of using an on-grid photovoltaic system for Bitcoin mining.

Abstract. The article discusses a methodology to make viable Bitcoin mining in Brazil using a grid-connected photovoltaic system (GCPS) that is limited by an area of 20 m², with six Brazilian cities as an example, which does not meet 100% of the energy demand for the mining process. The installation conditions and costs of the GCPS and Bitcoin miner investment are considered. The best installation point in the cities is looked to reduce costs and obtain a return on investment in less time. To do so, various operating scenarios were considered with two distinct types of electricity costs provided by the utility company, which are the conventional tariff and the white tariff. It is concluded that the use of an GCPS makes mining profitable in the evaluated cities, given a suitable operating scenario. However, the return-on-investment time is high because the operation cannot run for 24 hours a day due to high energy tariffs in Brazil. Therefore, the use of an GCPS that does not meet 100% of the demand is questioned because if it does, the net revenue will increase, and the return-on-investment time will decrease, mitigating the economic risks of the process.

Keywords: Photovoltaic Module, Grid-Connected Photovoltaic System (GCPS), Solar Potential in Brazil, Bitcoin Mining, Energy Tariffs in Brazil

NOMENCLATURA

Símbolos

฿	Bitcoin	
$G_{\text{฿}}$	Ganhos Diários	[฿/dia]
$V_{mp_{mod}}$	Tensão no Ponto De Máxima Potência	[V]
$V_{oc_{mod}}$	Tensão de Circuito Aberto	[V]
$CoefTempV_{oc}$	Coeficiente de Temperatura de Circuito Aberto	[%/°C]
$CoefTempV_{mp}$	Coeficiente de Temperatura de Máxima Potência	[W/°C]
N_{str}	Número de String	
N_{mod}	Número de Módulos	
$V_{oc_{máx}}$	Tensão Máxima de Circuito Aberto	[V]
$V_{mp_{min}}$	Tensão Mínima de Ponto de Máxima Potência	[V]
$V_{mp_{max}}$	Tensão Máxima de Ponto de Máxima Potência	[V]
$Temp_{min}$	Temperatura Mínima	[°C]
$Temp_{máx}$	Temperatura Máxima	[°C]
R	Resultado Líquido	[R\$]
G	Ganhos	[R\$]
P	Potência de Consumo do Minerador	[kWh]
T_{conv}	Tarifa Convencional	[R\$/kWh]
$E_{d,h}$	Energia Gerada pelo SFCR	[kWh]
$T_{b,h}$	Tarifa Branca	[R\$/kWh]
$P_{d,h}$	Potência de Consumo do Minerador Variável	[kWh]

Abreviaturas e acrônimos

AC	Alternating Current
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica

DC	Direct Current
FV	Fotovoltaico
GEE	Gases do Efeito Estufa
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LABEEE/UFSC	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina
MPPT	Maximum Power Point Tracking
NASDAQ	National Association of Securities Dealers Automated Quotations
POW	Proof-of-Work
R-BOC	Resultado Líquido Com Tarifa Branca e Operação Contínua
R-BOIC	Resultado Líquido Com Tarifa Branca e Operação Intermitente Concorrente
R-BOID	Resultado Líquido Com Tarifa Branca e Operação Intermitente Divergente
R-COC	Resultado Líquido Com Tarifa Convencional e Operação Contínua
R-COIC	Resultado Líquido Com Tarifa Convencional e Operação Intermitente Concorrente
R-COID	Resultado Líquido Com Tarifa Convencional e Operação Intermitente Divergente
SAM	System Advisor Model
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Motivação	1
1.2. Objetivo	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1. Mineração de Bitcoin	2
2.2. Dimensionamento do SFCR	3
3. CASO ESTUDADO	4
3.1. Metodologia para Avaliação da Viabilidade	5
3.2. Equacionamento dos Cenários	6
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	7
4.1. Belém – PA	7
4.2. Curitiba – PR	8
4.3. Januária – MG	10
4.4. Manaus – AM	11
4.5. Porto Alegre - RS	12
4.6. Rio de Janeiro – RJ	13
4.7. Panorama Geral	14
5. CONCLUSÃO	15
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
7. ANEXOS	17
8. APÊNDICE	18

1. INTRODUÇÃO

O Bitcoin (₿) foi criado em 2008 como uma forma de dinheiro digital descentralizado que permite transferências de valor entre pessoas de forma rápida, segura e barata, sem a necessidade de intermediários (NAKAMOTO, 2009). O Bitcoin funciona através da tecnologia *Blockchain*, que é um livro contábil digital descentralizado e distribuído entre muitos computadores ao redor do mundo. As transações de Bitcoins são registradas nesse livro contábil e validadas pelos usuários da rede, chamados de mineradores, que utilizam a técnica de *Proof-of-Work* (PoW) para validar as transações e adicionar novos blocos ao *Blockchain* do Bitcoin.

O PoW é um processo de validação que envolve a resolução de problemas matemáticos complexos chamados de *hashes*. Os mineradores competem para resolver esses *hashes* e o primeiro que consegue resolver ganha o direito de adicionar um bloco ao *Blockchain* e receber uma recompensa em Bitcoins.

Esse trabalho pode ser realizado em conjunto com outros computadores conectados por uma rede de mineração chamada *mining pool* no qual, em vez de disputarem um com o outro, esses computadores cooperam e aumentam seu poder computacional. Dessa forma, resolvendo os *hashes* mais rapidamente, aumentando suas chances de acertarem o *hash* do bloco e ganharem o prêmio. O prêmio é rateado entre os membros do *pool* de acordo com o poder computacional que cada um oferece à rede, medido em *hash* resolvido por segundo (H/s), também conhecido como *hashrate*.

Esse processo garante a segurança e a integridade da rede Bitcoin, tornando praticamente impossível que alguém adultere as transações registradas no *Blockchain*. Contudo, é demandado um grande uso de energia, fazendo com que PoW seja muito criticado por gerar muitas emissões.

1.1. Motivação

Num mundo onde a redução da quantidade de emissões é cada vez mais importante para a sociedade, o PoW do Bitcoin precisa ser aprimorado para atender essa nova necessidade. Por essa razão, o uso de módulos fotovoltaico (FV) para a geração da energia necessária para a mineração de Bitcoin pode ser uma solução viável e sustentável para reduzir as emissões de gases do efeito estufa (GEE) associadas à mineração.

A geração de energia solar está se tornando cada vez mais acessível e a instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) em residências pode permitir que qualquer pessoa participe da mineração de Bitcoin, reduzindo o impacto dos altos consumos de energia e compensando as emissões GEE. A adoção de SFCR na mineração de Bitcoin pode, portanto, ser empregada ao processo para torná-lo mais eficiente energética e economicamente.

1.2. Objetivo

Este artigo objetiva desenvolver uma metodologia para ser aplicada na avaliação da viabilidade do uso de um SFCR para mineração de Bitcoin no Brasil, em uma escala replicável em âmbito residencial. Para isto, parâmetros como dimensionamento do SFCR, ganhos obtidos na mineração de Bitcoin e custos com as tarifas energéticas serão mantidos fixos e parâmetros de operação como local, horário e dia serão variáveis. Com isso, será definido um ponto otimizado de operação a fim de maximizar os lucros e reduzir o tempo de retorno do investimento. Através desta metodologia, visa-se encontrar qual é a melhor cidade em uma comparação e definir qual o melhor cenário de operação para cada uma dessas cidades.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para dimensionar adequadamente a viabilidade do SFCR para mineração de Bitcoin, é necessário definir algumas condições importantes. É preciso levar em consideração as condições de instalação do sistema, seus custos de instalação e manutenção, bem como o consumo de energia elétrica necessário para a mineração. Além disso, é essencial avaliar o custo da energia por região analisada.

A partir dessas informações, é possível determinar os ganhos esperados com a mineração de Bitcoin e, assim, responder se o investimento em um SFCR é viável e se é lucrativo.

2.1. Mineração de Bitcoin

Conforme criado por Nakamoto (2009) e detalhado por Parro (2022), a mineração do Bitcoin requer o fornecimento de poder computacional, conhecido como *hashrate*, para a rede *Blockchain*. O *hashrate* fornecido é combinado com o dos outros computadores na rede para gerar o *hashrate* global, que determina a velocidade a qual o *hash* dos blocos será resolvido. O algoritmo da *Blockchain* espera que um bloco seja resolvido em média a cada 10 minutos, mas o *hashrate* da rede varia ao longo do tempo, o que afeta a velocidade de descoberta. Assim, um segundo parâmetro que existe para ajustar esse tempo médio é a dificuldade da rede Bitcoin, que é ajustada a cada 2016 blocos, o que corresponde a cerca de duas semanas. Dessa forma, se os blocos forem encontrados rapidamente, a dificuldade aumenta, tornando a mineração mais difícil e expurgando mineradores ineficientes, já se os blocos forem encontrados lentamente, a dificuldade diminui, tornando a mineração mais fácil e atraindo novos mineradores para o processo. Isso aumenta o *hashrate* da rede e conseqüentemente a segurança da rede do Bitcoin, pois quanto maior o *hashrate*, mais difícil é de algum ataque *hacker* à rede ocorrer.

Como a mineração é um processo aleatório, apenas um minerador pode minerar cada bloco a cada 10 minutos, e não há uma Equação exata para calcular os ganhos da mineração. A única variável precisa nos cálculos de ganhos é o prêmio em Bitcoin dado ao minerador que encontra a solução do *hash* do bloco. Os ganhos da mineração diminuem pela metade a cada 210 mil blocos, que é aproximadamente a cada quatro anos, em um evento chamado *halving*. O primeiro *halving* ocorreu em 2012, reduzindo a recompensa de ₿ 50 para ₿ 25 por bloco. O segundo *halving* ocorreu em 2016, reduzindo a recompensa para ₿ 12,5 por bloco, e o terceiro *halving* ocorreu em 2020, reduzindo a recompensa para ₿ 6,25 por bloco. O quarto *halving* está previsto para ocorrer em 2024, no bloco de número 840 mil.

Ao unir-se a um *pool* para minerar criptomoedas, o poder de processamento do minerador é combinado com o de outros computadores, aumentando significativamente as chances de o *pool* resolver um *hash* e minerar um bloco. Os membros do *pool* compartilham a recompensa de ₿ 6,25, que é dividida de acordo com a contribuição, em H/s, de cada um dos membros. Os ganhos diários, chamado de $G_{\mathbb{B}}$ e medido em ₿/dia, são então calculados usando a Eq. (1)

$$G_{\mathbb{B}} = \frac{6,25 [\textit{hashrate} \text{ do minerador}] 86400}{[\textit{dificuldade da rede}] 2^{32}} \quad (1)$$

na qual o valor fixo de 6,25, em ₿, é o valor recebido por bloco minerado. O termo $[\textit{hashrate} \text{ do minerador}]$ é o poder de processamento que o minerador contribui para o *pool* em H/s. A $[\textit{dificuldade da rede}]$ é um parâmetro que determina a velocidade de mineração da rede, também em H/s, e 2^{32} é o número de *hashes* possíveis para um *nonce*, que é um número arbitrário utilizado pelos mineradores para tentar encontrar um bloco válido. O *nonce* é um campo de 32 bits no cabeçalho do bloco, que os mineradores ajustam para que o *hash* do bloco seja menor ou igual ao alvo da rede.

Neste artigo, os parâmetros de ganhos para cada 1 TH/s (10^{12} hash/segundo) fornecido ao *pool* de mineração serão fixos. Ou seja, os ganhos por bloco serão de 6,25 Bitcoins e a [dificuldade da rede] será de 39,2 TH/s, de acordo com dados da Associação Nacional de Corretores de Títulos de Cotações Automáticas (Nasdaq – em inglês, *National Association of Securities Dealers Automated Quotations*) em 26/02/23. Com esses valores, é possível estimar um ganho de ₺ 0,000.003.21 ou ₺ 0,000.000.13 por hora.

Para calcular o ganho em reais, basta multiplicar o ganho em Bitcoins pelo valor do Bitcoin em reais, que neste artigo será utilizado o valor do dia 26/02/23, que foi de aproximadamente R\$ 124.012,18. Portanto, 1 TH/s aplicado no *pool* irá gerar uma recompensa de R\$ 0,016.121.583.4 por hora.

Para este artigo, optou-se pelo uso do minerador "Bitcoin Miner S19 Pro" da empresa Bitmain. Trata-se de um minerador de alta performance lançado em maio de 2020, que apresentou um valor de US\$ 1.950,00, equivalente a R\$ 10.169,64 na cotação do dia 26/02/23. Esse equipamento possui uma potência de operação de 2.950 W e um *hashrate* de 100 TH/s. Com essas especificações, é possível gerar um ganho de R\$ 1,612.158.34 por hora, com base nos parâmetros fixados de recompensa e dificuldade da rede.

2.2. Dimensionamento do SFCR

Neste artigo, optou-se por limitar a área de instalação dos módulos FV em 20 m² (5m x 4m), a fim de simular um cenário viável para instalação em residências comuns, seguindo a proposta de Filho et al. (2018), mas de uma forma mais restrita aos cenários optados aqui. Além disso, foram realizadas simplificações na análise, considerando-se que o terreno é plano e não apresenta sombras que possam afetar a performance do sistema. Assim, desconsiderou-se a perda de desempenho devido ao sombreamento.

Para contornar a limitação de espaço mencionada, optou-se por utilizar 10 módulos solares da empresa Boviet Solar Tech, do modelo BVM6612M-450S-H-HC. Esses módulos possuem uma eficiência nominal de 20,5% e potência máxima de 451,25 Wp. Além disso, apresentam os demais parâmetros relevantes, como tensão no ponto de máxima potência ($V_{mp_{mod}}$) de 40,8 V, corrente ponto de máxima potência de 11,1 A, tensão de circuito aberto ($V_{oc_{mod}}$) de 49,1 V, corrente de circuito aberto de 11,6 A, coeficiente de temperatura de circuito aberto ($CoefTempV_{oc}$) de -0,364%/°C e de máxima potência ($CoefTempV_{mp}$) de -1,643 W/°C, além da largura de 1 m e comprimento de 2,2 m.

Conforme Pinho e Galdino (2014), assim como Ziles et al. (2012) e Villalva e Gazoli (2012), ao instalar 10 módulos solares em uma única *string* (N_{str}) para cobrir a área disponível de 20 m², com orientação solar otimizada, a potência instalada, que é dada pela Eq. (2)

$$[\text{Potência Instalada}] = N_{mod}[\text{Potência do Módulo}], \quad (2)$$

será de 4,51 kWp durante o horário de pico, no qual N_{mod} é o número de módulos.

Para atender os requisitos dos módulos e as demandas legais da instalação do SFCR, foi escolhido o inversor GROWATT 5000MTLP-US [208V] da Shenzhen, que possui as seguintes especificações: número de MPPT de 1, potência AC máxima de 4.985 W, potência DC máxima de 5278,1 W, tensão nominal de 240 V, máxima tensão de 550 V, máxima corrente de 12,5669 A, tensão mínima MPPT de 250 V, tensão nominal DC de 420 V e máxima tensão MPPT DC de 550 V.

Para validar o uso do inversor em conjunto com os módulos FV escolhidos, é necessário verificar se os valores de tensão máxima de circuito aberto ($V_{oc_{máx}}$), na Eq. (3), os valores da tensão mínima de ponto de máxima potência ($V_{mp_{min}}$), na Eq. (4). e os valores da tensão máxima de ponto de máxima potência ($V_{mp_{max}}$), na Eq. (5), estão dentro dos limites permitidos

pelo inversor, levando em consideração a correção em termos da temperatura do módulo FV, i.e.,

$$V_{oc_{m\acute{a}x}} = \frac{N_{mod}}{N_{str}} V_{oc_{mod}} \left\{ 1 - \left[\left(\frac{CoefTempV_{oc}}{100} \right) (25 - Temp_{min}) \right] \right\} \quad (3)$$

$$V_{mp_{min}} = \frac{N_{mod}}{N_{str}} V_{mp_{mod}} \left\{ 1 - \left[\left(\frac{CoefTempV_{mp}}{100} \right) (25 - Temp_{m\acute{a}x}) \right] \right\} \quad (4)$$

$$V_{mp_{max}} = \frac{N_{mod}}{N_{str}} V_{mp_{mod}} \left\{ 1 - \left[\left(\frac{CoefTempV_{mp}}{100} \right) (25 - Temp_{min}) \right] \right\} \quad (5)$$

para $Temp_{min}$ igual a 0 °C $Temp_{m\acute{a}x}$ igual a 80 °C. Assim, a tensão máxima de circuito aberto tem o valor de 535,7 V e deve ser menor que a tensão máxima do inversor, de 550 V. A tensão mínima de ponto de máxima potência tem o valor de 326,3 V e deve ser menor que mínimo MPPT DC do inversor de 250 V. Por fim, a tensão máxima de ponto de máxima potência tem o valor de 445,1 V e deve ser menor que a tensão máxima MPPT DC do inversor, de valor de 550 V. Se as três Equações forem satisfeitas, o inversor será adequado para essa configuração, onde, nesse caso, é adequado.

O custo total estimado para a instalação desse sistema é de R\$ 30.000,00, levantado através da consideração de custos de instalações semelhantes.

3. CASO ESTUDADO

Foram selecionadas 6 cidades situadas em zonas climáticas e latitudes distintas, de acordo com Nimer (1979), para este artigo, cada uma com potencial solar diferente, conforme Solargis (2023), a fim de comparar a performance entre elas. As cidades selecionadas são as seguintes: Belém – PA, Curitiba – PR, Januária – MG, Manaus – AM, Porto Alegre – RS e Rio de Janeiro – RJ. Seus potenciais de energia fotovoltaica podem ser visualizados na Figura 20 do Anexo I.

Levando em consideração o custo total de instalação do SFCR de R\$ 30.000,00 e o custo do minerador utilizado "Bitcoin Miner S19 Pro" de R\$ 10.169,64, tem-se um investimento total de R\$ 40.169,64. Buscando maximizar os ganhos através do potencial solar de cada cidade para reduzir os custos e obter um retorno do investimento no menor tempo possível, com o minerador que gera um ganho de R\$ 1,612.158.34 por hora por meio da operação em *pool* e consome no máximo de 2,950 kWh, será considerado os custos de energia elétrica para cada cidade. São fornecidas pela concessionária, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), duas possibilidades de tarifas, que são a tarifa convencional e a tarifa branca, em que a tarifa branca é uma modalidade de tarifação da conta de luz no Brasil que permite que o consumidor pague menos pela energia elétrica consumida em determinados horários do dia, na qual é dividida em três tipos de horários: ponta, intermediário e fora de ponta.

Na Tabela 1 é possível verificar os valores das tarifas convencionais e tarifas brancas, para cada uma das cidades selecionadas, conforme Ranking de Tarifas 2023 (ANEEL, 2023). Para fins deste artigo, as tarifas serão consideradas as mesmas para os próximos anos.

Tab. 1 – Tabela com tarifas com o valor em R\$ por kWh para cada tipo de modalidade por cidade e horário de operação.

	Tarifa	Convencional	Tarifa Branca Fora da Ponta	Tarifa Branca Intermediária	Tarifa Branca Ponta
Concessionária	Cidade / Horário	Qualquer	21:30 - 16:30	16:30 - 17:30 20:30 - 21:30	17:30 - 20:30
Equatorial PA	Belém - PA	R\$ 0,8789	R\$ 0,6824	R\$ 1,2882	R\$ 2,0244
Copel-DIS	Curitiba - PR	R\$ 0,5697	R\$ 0,4833	R\$ 0,6735	R\$ 1,0047
Cemig-D	Januária - MG	R\$ 0,6531	R\$ 0,5334	R\$ 0,8181	R\$ 1,2505
Amazonas Energia	Manaus - AM	R\$ 0,8348	R\$ 0,7088	R\$ 1,0702	R\$ 1,6150
CEEE Equatorial	Porto Alegre - RS	R\$ 0,6560	R\$ 0,5650	R\$ 0,8210	R\$ 1,2260
Enel RJ	Rio de Janeiro - RJ	R\$ 0,8016	R\$ 0,6547	R\$ 0,9683	R\$ 1,4427

Aplicando a Eq. (6) para o período de 1 hora de operação, onde R é o resultado líquido em R\$ no período analisado, temos que

$$R = G - P T_{conv} \quad (6)$$

na qual G são os ganhos em R\$ de operação, P é a potência de consumo do minerador, em kWh, e T_{conv} é a tarifa convencional, em R\$/kWh. Desta forma, na cidade com a tarifa convencional mais barata, que é Curitiba, calcula-se o resultado líquido de - R\$ 0,068 por hora de operação, o que significa operar em prejuízo.

3.1. Metodologia para Avaliação da Viabilidade

Através da Eq. (6) definiu-se cenários de operação distintos que visam avaliar o resultado líquido com métodos de operação do minerador diferentes e comparando esses métodos de operação com os tipos de tarifas distintas. Ao todo são seis cenários avaliados.

O primeiro cenário é o do resultado líquido com tarifa convencional e operação contínua, a sigla adotada é **R-COC**, em que o minerador opera 24 horas por dia e os custos são baseados na tarifa convencional. Conforme Figura 21 do Apêndice A.

O segundo cenário é o resultado líquido com tarifa branca e operação contínua (**R-BOC**), em que o minerador opera 24 horas por dia e os custos são baseados na tarifa branca. Conforme Figura 22 do Apêndice A.

O terceiro cenário é o resultado líquido com tarifa convencional e operação intermitente concorrente (**R-COIC**), em que o minerador opera apenas durante o período de geração da energia e os custos são baseados na tarifa convencional. Conforme Figura 23 do Apêndice A.

O quarto cenário é o resultado líquido com tarifa branca e operação intermitente concorrente (**R-BOIC**), em que o minerador opera apenas durante o período de geração da energia e os custos são baseados na tarifa branca. Conforme Figura 24 do Apêndice A.

O quinto cenário é o resultado líquido com tarifa convencional e operação intermitente divergente (**R-COID**), no que o minerador opera durante o período da noite pós geração de energia e os custos são baseados na tarifa convencional. Conforme Figura 25 do Apêndice A.

O sexto cenário é o resultado líquido com tarifa branca e operação intermitente divergente (**R-BOID**), em que o minerador opera apenas durante o período da noite pós geração de energia e os custos são baseados na tarifa branca. Conforme Figura 26 do Apêndice A.

3.2. Equacionamento dos Cenários

I – cenário R-COC – para esse cenário, na qual R agora considera o ano todo e é calculado pela Eq. (7) através de somatórias que calcula os resultados dia a dia e hora a hora

$$R = \sum_{d=1}^{365} \sum_{h=0}^{23} [G - (E_{d,h} - P)T_{conv}] \quad (7)$$

na qual $E_{d,h}$ é a energia gerada pelo SFCR, em kWh, em cada hora de cada dia do ano considerando o local onde o sistema está instalado, para h sendo a hora do dia analisado e d o dia do ano. Neste cenário, o valor de P é constante durante os 365 dias do ano e nas 24 horas de cada um desses dias, pois isto significa uma operação contínua e ininterrupta.

II – cenário R-BOC – para esse cenário será calculado dia a dia e hora a hora para uma operação onde a tarifa é variável

$$R = \sum_{d=1}^{365} \sum_{h=0}^{23} [G - (E_{d,h} - P)T_{b,h}] \quad (8)$$

na qual, os valores se mantêm iguais ao R-COC, no entanto $T_{b,h}$ é a tarifa branca, em R\$/kWh, que varia de acordo com a hora do dia, conforme Tab. 1.

III – cenário R-COIC – para esse cenário será calculado dia a dia e hora a hora da de uma operação intermitente durante o período de geração de energia pelos SFCR

$$R = \sum_{d=1}^{365} \sum_{h=0}^{23} [G - (E_{d,h} - P_{d,h})T_{conv}] \quad (9)$$

na qual, $P_{d,h}$ é a potência de consumo do minerador, em kWh, que é variável de acordo com a condição $[G - (E_{i,j} - P_{i,j})T_{conv}]$, em que se essa condição for menor que 0, para $P_{i,j} \neq 0$ e $i, j = d, h$, o valor de $P_{d,h}$ será 0 kWh, caso contrário, terá o valor 2,950 kWh.

IV – cenário R-BOIC – para esse cenário será calculado dia a dia e hora a hora também de uma operação intermitente durante o período de geração, contudo, com a tarifa branca

$$R = \sum_{d=1}^{365} \sum_{h=0}^{23} [G - (E_{d,h} - P_{d,h})T_{b,h}] \quad (10)$$

na qual, a mesma condição de R-COIC é aplicada, porém agora $T_{b,h}$ é a tarifa branca que varia de acordo com a hora do dia, conforme Tab. 1.

V – cenário R-COIC – para esse cenário será calculado dia a dia e hora a hora para uma operação intermitente, porém no período noturno, aproveitando a energia gerada durante o dia

$$R = \sum_{d=1}^{365} \sum_{h=0}^{23} [G - (E_{d,h} - P_{d,h})T_{conv}] \quad (11)$$

na qual $P_{d,h}$ será de 0 kWh caso $[E_{total\ dia}/P - (i_h + 1)] \leq 0$ e 2,950 kWh caso contrário. Sendo essa condicional avaliada hora a hora, no qual i_h é o valor da hora avaliada, começando desde a hora 0.

VI – cenário R-BOID – para esse cenário será calculado dia a dia e hora a hora para uma operação intermitente em horário noturno com o uso da tarifa branca, assim

$$R = \sum_{d=1}^{365} \sum_{h=0}^{23} [G - (E_{d,h} - P_{d,h})T_{b,h}] \quad (12)$$

e as mesmas condições de R-COIC são aplicadas, porém com a $T_{b,h}$ sendo a tarifa branca.

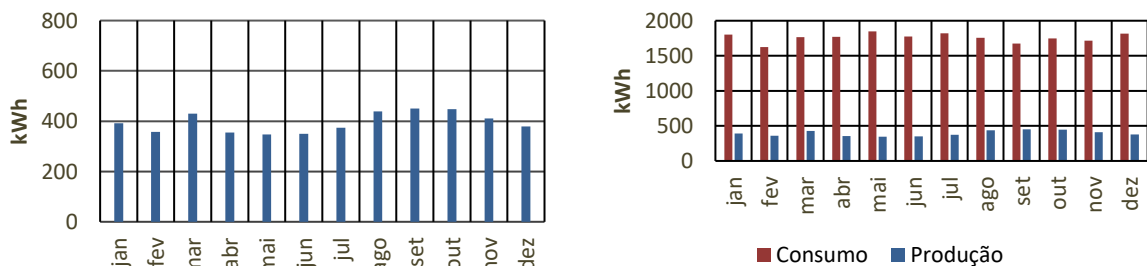
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para avaliar o comportamento transiente dos SFCR para cada uma das cidades neste artigo, utilizou-se o *software* System Advisor Model (SAM). Esse software recebeu dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) fornecidos pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEE/UFSC), através do seu *website* (LABEEE, 2023). A partir da simulação, obteve-se a quantidade de energia que os SFCR podem gerar para o minerador. Em seguida, aplicou-se as Equações para cada cenário analisado.

4.1. Belém – PA

Belém – PA é uma cidade caracterizada por uma média diária anual de radiação solar de 4,35 kWh/m² (LABEEE, 2023). Além disso, a cidade apresenta uma média anual de temperatura do ar de 26,6°C (INMET, 2023). A Figura 1 pode ser observado na geração de energia de Belém.

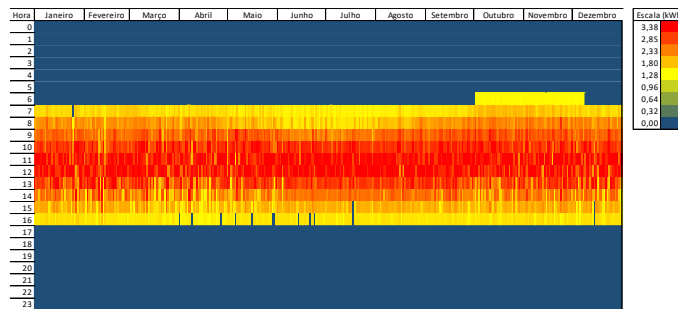
Figura 1 – Produção mensal de energia pelos painéis em Belém – PA, à esquerda, e consumo do minerador frente a produção, à direita



A cidade não tem um potencial muito bom para aproveitar a energia solar fotovoltaica. Isso se deve ao fato de que, durante a maioria dos meses do ano, existe uma pluviosidade significativa, conforme Mapa de Precipitação (INMET, 2023). Em média, a cidade produz apenas 394 kWh por mês, o que é muito baixo frente à demanda média de 1.759 kWh por mês.

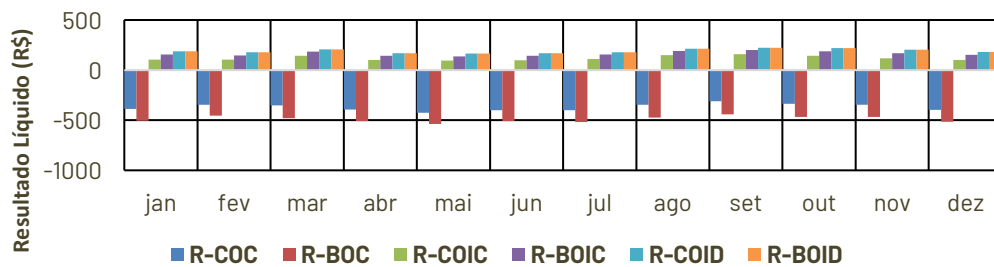
Estas mesmas características também podem ser vistas no mapa de calor, Figura 2. Observa-se que os picos de produção não são constantes e é comum que esses picos sejam interrompidos por períodos com queda de produção, devido ao clima nublado.

Figura 2 – Mapa de calor de produção de energia em kWh por hora do dia pelo SFCR em Belém – PA



Frente a essa condição da cidade, foi aplicado as Equações dos 6 cenários em Belém. Essas equações levam em consideração as tarifas da cidade, conforme Tab. 1. A partir dessas análises, obteve-se o seguinte resultado, conforme pode ser observado na Figura 3. O resultado líquido apresenta um grande prejuízo se o minerador operar constantemente durante as 24 horas do dia. No entanto, se as operações forem intermitentes, o resultado líquido apresenta um leve lucro mensal. Além disso, se o minerador operar no período noturno, independente da tarifa aplicada nesse período, o lucro será ainda maior.

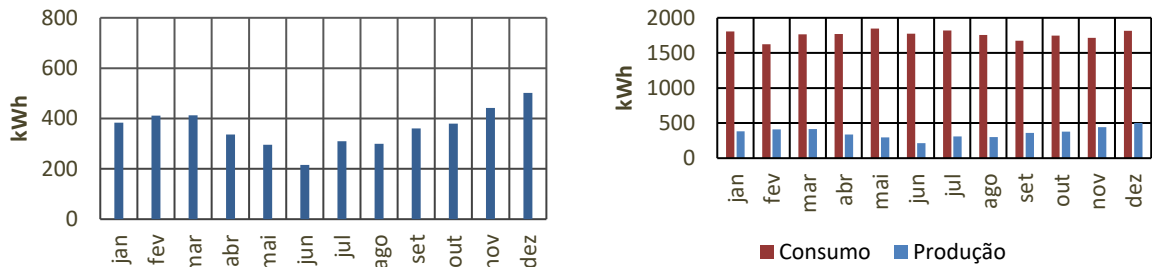
Figura 3 – Resultado Líquido por cenário em Belém



4.2. Curitiba – PR

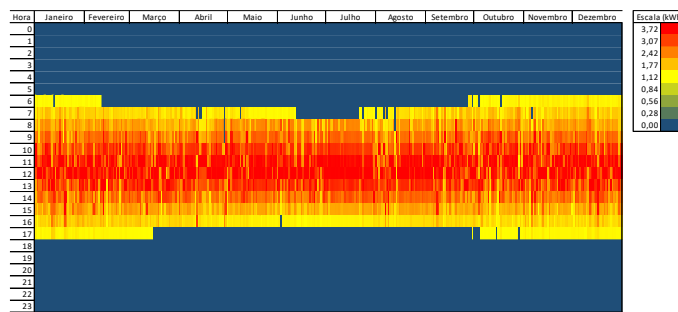
Curitiba – PR é uma cidade caracterizada por uma média diária anual de radiação solar de 4,08 kWh/m² (LABEEE, 2023). Além disso, a cidade apresenta uma média anual de temperatura do ar de 16,5°C (INMET, 2023). O clima da cidade é subtropical úmido, com as quatro estações do ano relativamente definidas (NIMER, 1979). Durante o verão, encontramos temperaturas mornas e uma certa quantidade de precipitação, conforme Mapa de Precipitação (INMET, 2023), ou seja, uma pluviosidade significativa. Já no inverno, o clima é ameno, mas o céu é mais encoberto. Durante os meses de primavera, o céu passa a ter menos nuvens e, assim, há uma maior geração de energia pelo SFCR, conforme apresentado na Figura 4. Em média, a cidade gera cerca de 362 kWh de energia por mês.

Figura 4 – Produção mensal de energia pelos painéis em Curitiba – PR, à esquerda, e consumo do minerador frente a produção, à direita



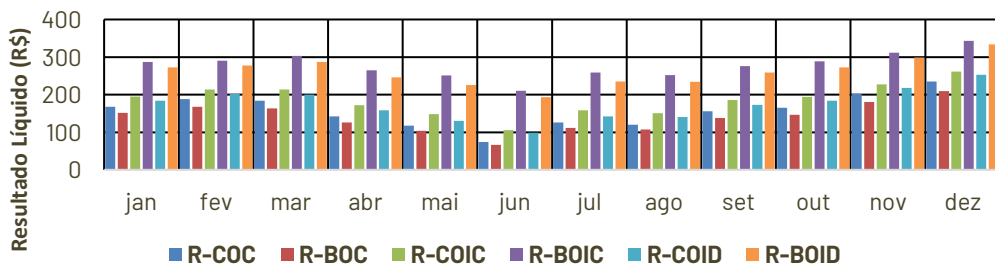
Assim como Belém, o mapa de calor de Curitiba, Figura 5, mostra que os picos de produção de energia solar não são constantes. Observa-se que há um período maior de geração de energia, porém essa quantidade é menor do que a máxima capacidade do SFCR na cidade. Esse comportamento se dá devido ao tipo de clima da cidade e à grande quantidade de nuvens que cobrem o céu ao longo do ano.

Figura 5 – Mapa de calor de produção de energia em kWh por hora do dia pelos painéis em Curitiba – PR



Aplicando as Equações dos 6 cenários em Curitiba e considerando suas tarifas, conforme Tab. 1, obtêm-se o seguinte resultado, Figura 6. É possível notar que, mesmo com uma produção média de energia baixa, Curitiba é beneficiada pelo fato de que o custo da tarifa de energia na cidade é baixo. Por essa razão, o resultado líquido apresenta lucro em todos os cenários.

Figura 6 – Resultado Líquido por cenário em Curitiba

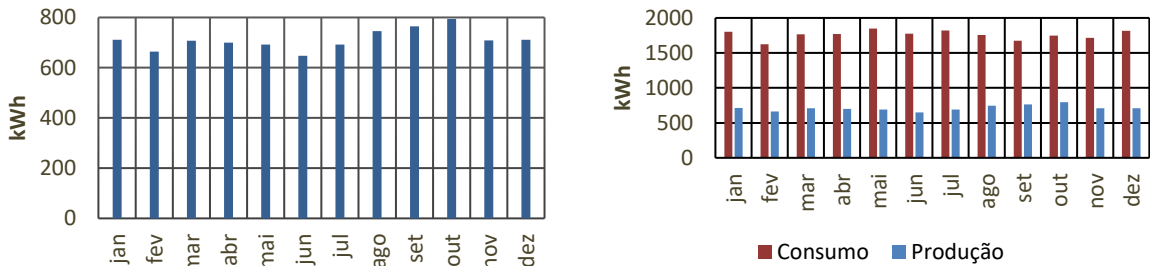


Em especial, o cenário de operação intermitente durante o período de geração com a tarifa branca apresenta os melhores resultados para Curitiba, com lucros mais altos mês a mês.

4.3. Januária – MG

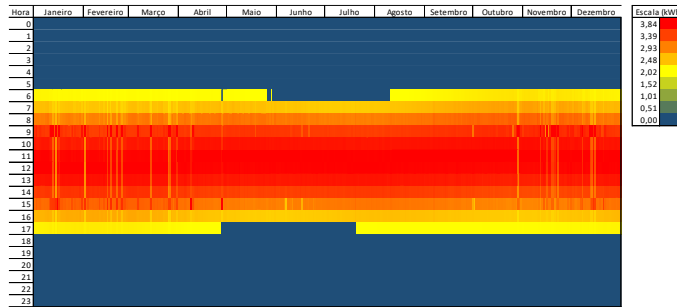
Januária – MG é uma cidade caracterizada por uma média diária anual de radiação solar de 6,47 kWh/m² (LABEEE, 2023) e uma média anual de temperatura do ar de 24,9°C (INMET, 2023). A cidade possui um clima com pouca chuva ao longo do ano, conforme Mapa de Precipitação (INMET, 2023), o que torna sua geração de energia praticamente constante. Por essa razão, Januária tem um potencial elevado para aproveitar a energia solar térmica e fotovoltaica, como mostra a Figura 7. A cidade tem uma geração média de 712 kWh por mês.

Figura 7 – Produção mensal de energia pelos painéis em Januária – MG, à esquerda, e consumo do minerador frente a produção, à direita



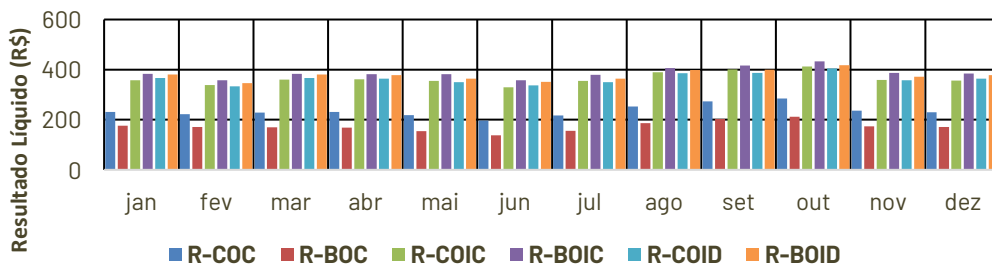
O mapa de calor de Januária, Figura 8, mostra uma uniformidade ao longo do ano na produção de energia próxima à capacidade máxima do sistema na cidade. Isso reforça o tipo de clima da cidade e sua eficiência para a geração de energia com um SFCR.

Figura 8 – Mapa de calor de produção de energia em kWh por hora do dia pelos painéis em Januária – MG



Ao aplicar as Equações dos 6 cenários em Januária, considerando suas tarifas, conforme Tab. 1, observa-se que seus resultados líquidos são todos de lucro, Figura 9.

Figura 9 – Resultado Líquido por cenário em Januária

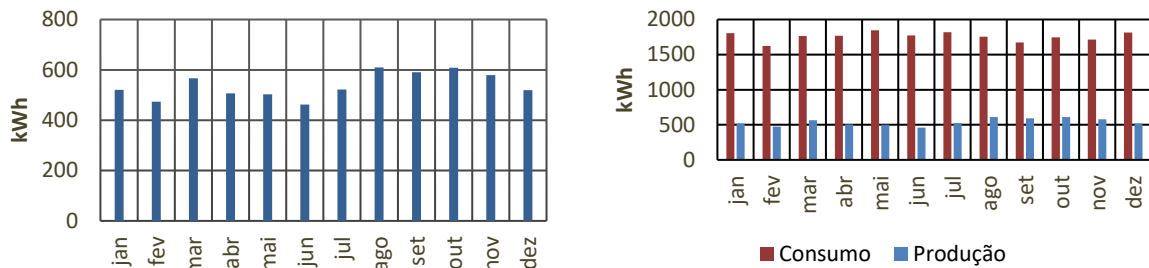


Isso se deve ao fato de que, assim como Curitiba, Januária possui tarifas de energia mais baixa comparada as outras cidades. Somando isso com a alta produção de energia e consequentemente a redução de custos de operação, Januária é extremamente beneficiada. Ao analisar seus resultados, nota-se que a operação intermitente durante o período de geração com a tarifa branca também é o melhor cenário para Januária.

4.4. Manaus – AM

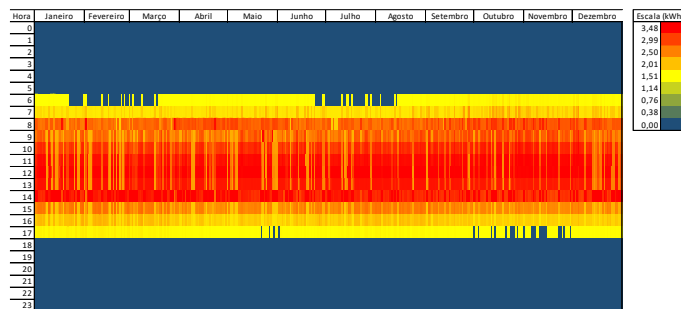
Manaus – AM é uma cidade caracterizada por uma média diária anual de radiação solar de 5,12 kWh/m² (LABEEE, 2023) e uma média anual de temperatura do ar de 26,3°C (INMET, 2023). No entanto, assim como Belém, a cidade também é afetada por uma grande quantidade de chuvas ao longo do ano, conforme Mapa de Precipitação (INMET, 2023), principalmente nos meses de verão e outono, que impactam sua geração de energia, Figura 10. A cidade tem uma produção média de 538 kWh por mês.

Figura 10 – Produção mensal de energia pelos painéis em Manaus – AM, à esquerda, e consumo do minerador frente a produção, à direita



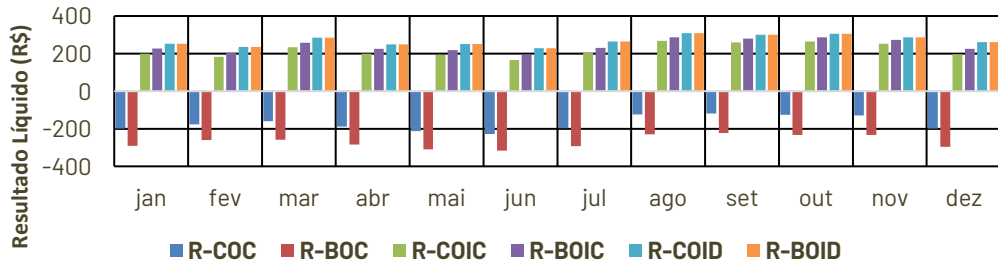
É observável pelo mapa de calor na Figura 11, que essa produção não apresenta a máxima performance do SFCR ao longo do ano, tendo muitos dias com a produção abaixo de 75% da produção máxima do sistema na região.

Figura 11 – mapa de calor de produção de energia em kWh por hora do dia pelos painéis em Manaus – AM



Ao aplicar as Equações dos 6 cenários em Manaus, considerando suas tarifas, conforme Tab. 1, observa-se que a cidade é afetada pelas altas valores das tarifas de energia, assim, operando com o resultado líquido em prejuízo nos cenários de operação contínua. Porém, os resultados líquidos são positivos para os cenários de operações intermitentes. Nesse sentido, a operação intermitente no período da noite, seja com tarifa branca ou convencional, é a melhor escolha para a cidade, como pode ser visto na Figura 12.

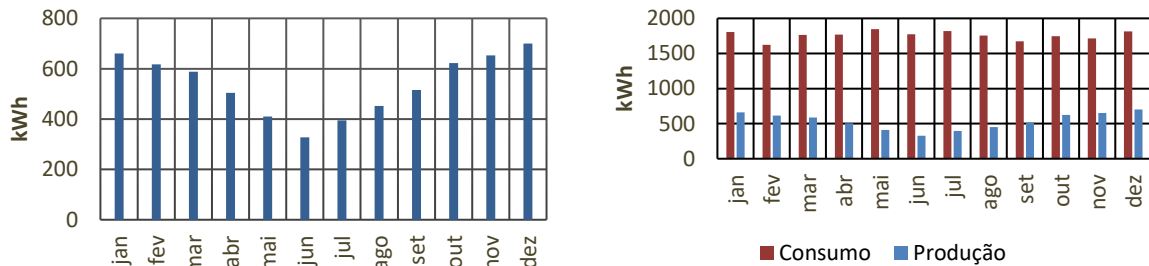
Figura 12 – Resultado Líquido por cenário em Manaus



4.5. Porto Alegre - RS

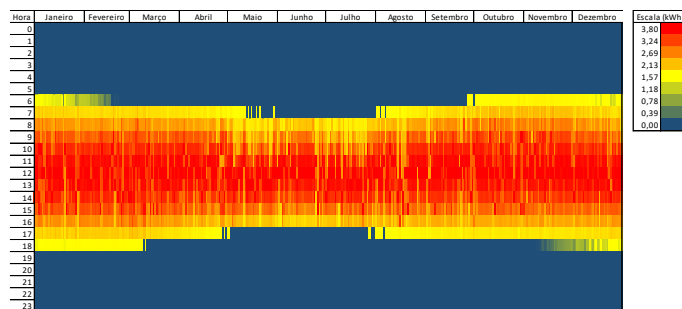
Porto Alegre – RS é uma cidade caracterizada por uma média diária anual de radiação solar de 4,61 kWh/m² (LABEEE, 2023) e uma média anual de temperatura do ar de 19,5°C (INMET, 2023). A cidade tem um potencial moderado para aproveitar a energia solar térmica e fotovoltaica. Como as quatro estações são bem definidas na cidade (NIMER, 1979), seu perfil de geração reflete com exatidão o clima na cidade e seus períodos com mais e menos nebulosidade, Figura 13. Sua geração média de energia é de 537 kWh para esse SFCR.

Figura 13 – Produção mensal de energia pelos painéis em Porto Alegre – RS, à esquerda, e consumo do minerador frente a produção, à direita



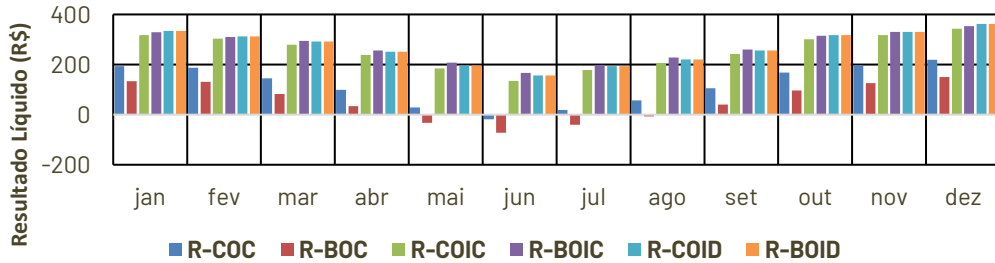
O mapa de calor de Porto Alegre, Figura 14, apresenta um resultado parecido com o de Curitiba, contudo, com maiores períodos de picos de geração ao longo do ano. Isto se dá pelo clima da cidade ser bem definido e os períodos de chuvas serem bem distribuídos ao longo do ano conforme as estações.

Figura 14 – Mapa de calor de produção de energia em kWh por hora do dia pelos painéis em Porto Alegre – RS



Ao aplicar as Equações dos 6 cenários em Porto Alegre, considerando suas tarifas, conforme Tab. 1, observa-se que, Figura 15, mesmo com uma geração de energia mais eficiente que Curitiba, as altas tarifas impactam nos resultados.

Figura 15 – Resultado Líquido por cenário em Porto Alegre

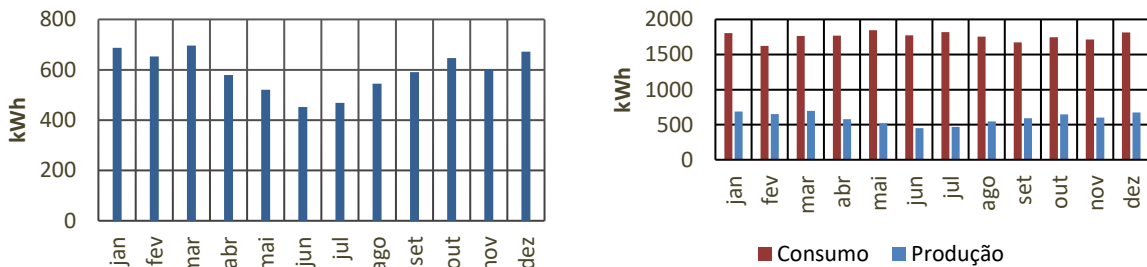


Assim, para Porto Alegre acaba sendo o cenário de operação intermitente de tarifa branca durante a geração de energia, porque nesse cenário, a soma dos meses é maior que os cenários de operação intermitente durante a noite.

4.6. Rio de Janeiro – RJ

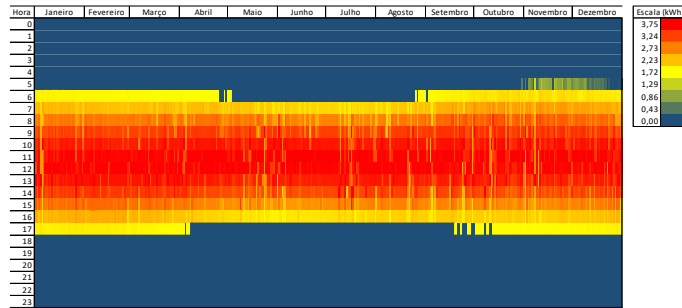
Rio de Janeiro – RJ é uma cidade caracterizada por uma média diária anual de radiação solar de 5,18 kWh/m² (LABEEE, 2023) e uma média anual de temperatura do ar de 23,8°C (INMET, 2023). A cidade tem um potencial alto para aproveitar a energia solar térmica e fotovoltaica, Figura 16, porém é uma cidade bastante afetada por chuvas e nuvens durante o verão, conforme Mapa de Precipitação (INMET, 2023). Sua produção média é de 593 kWh por mês.

Figura 16 – Produção mensal de energia pelos painéis em Rio de Janeiro – RJ, à esquerda, e consumo do minerador frente a produção, à direita



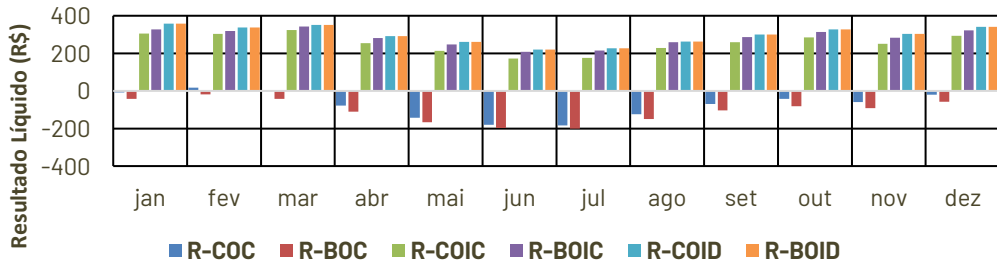
O mapa de calor do Rio de Janeiro, Figura 17, mostra que sua produção é bem definida ao longo do ano, onde nos meses de inverno diminui um pouco a quantidade de energia gerada, mas isso é compensado com gerações elevadas ao longo do ano.

Figura 17 – Mapa de calor de produção de energia em kWh por hora do dia pelos painéis em Rio de Janeiro – RJ



A Figura 18 apresenta o resultado das Equações dos 6 cenários em Rio de Janeiro, no qual nota-se que há um forte impacto das tarifas nos resultados, fazendo com que operações contínuas gerem prejuízos, conforme apresentado na Tab. 1, mas operações intermitentes não. As operações intermitentes de tarifa branca no horário da noite são as melhores opções para serem usadas na cidade, apresentando um grande lucro no resultado líquido.

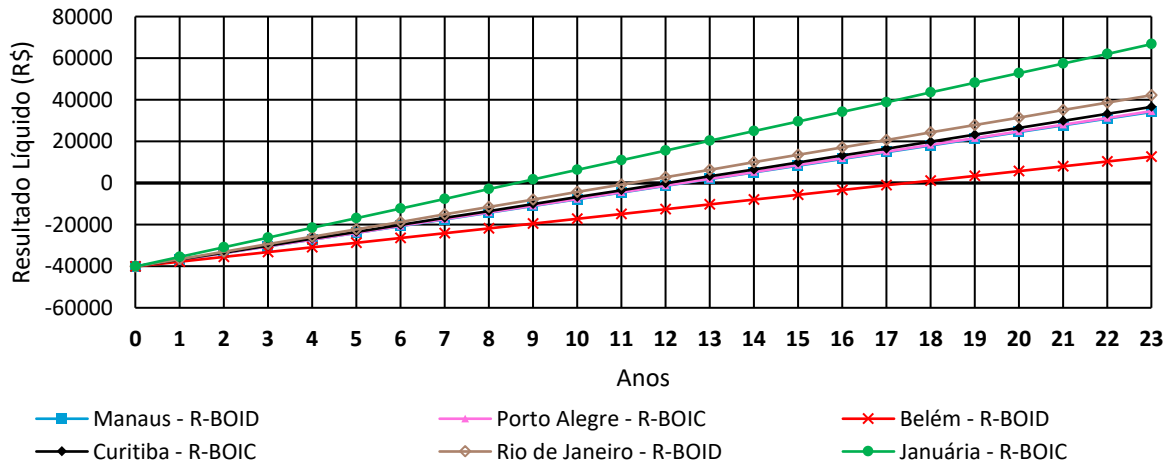
Figura 18 – Resultado Líquido por cenário em Rio de Janeiro



4.7. Panorama Geral

Obteve-se, então, uma visão geral dos resultados, conforme Figura 19. Esta figura apresenta o Resultado Líquido ano a ano em cada uma das cidades com o melhor cenário de operação do sistema, partindo do ponto inicial de - R\$ 40.169,64, que é a soma dos custos do projeto, ou seja, seu valor de investimento.

Figura 19 – Resultado Líquido por ano em cada cidade com o melhor cenário aplicado.



É observável que Januária, utilizando a modalidade R-BOIC possui um retorno de investimento de um pouco menos de 9 anos. Em segundo lugar tem-se Rio de Janeiro, utilizando a modalidade R-BOID que tem um retorno de investimento de 11 anos. Curitiba, Porto Alegre e Manaus estão praticamente empatadas. Curitiba e Porto Alegre operam no mesmo cenário R-BOIC e Manaus opera em um cenário diferente R-BOID. O retorno de investimento para essas três cidades gira em torno de 12 anos. A última cidade é Belém, que opera em R-BOID e possui um retorno de investimento de 17 anos.

5. CONCLUSÃO

Sendo o Brasil um país com uma irradiação média diária anual global elevada em uma grande parte do seu território, a utilização de módulos FV em um SFCR, com as limitações propostas neste artigo, pode ser suficiente para tornar a prática de mineração de Bitcoin rentável em todas as cidades analisadas. No entanto, devido ao alto custo das tarifas energéticas nos estados, sejam elas convencionais ou brancas, o resultado líquido da mineração acaba sendo muito inferior ao que seria em um país onde as tarifas de energia elétrica são menores, dessa forma, a utilização de módulos FV em um SFCR para minerar Bitcoin traria um retorno muito mais expressivo e acarretaria num retorno do investimento mais rápido.

A necessidade do retorno de investimento ocorrer no menor tempo possível se dá devido as imprevisibilidades da operação, as quais abrangem fatores da recompensa da mineração de Bitcoin, tais como o *halving* e o ajuste da dificuldade da rede, citados anteriormente, que impactam diretamente no montante da recompensa por bloco minerado, fatores relativos a ajustes nas tarifas de energia elétrica, os quais ocorrem mediante a causas externas como inflação, novos impostos governamentais e mudanças climáticas na região que impactam o fornecimento e a produção de energia pela rede, e, por fim, fatores da operação como um todo, que envolvem os custos com manutenção preventiva dos equipamentos e os custos das urgências com possíveis imprevistos técnicos. Por essa razão, quanto mais rápido ocorrer o retorno do investimento aplicado no sistema, desconsiderando a correção monetária para esse valor, menor será o tempo de exposição a esses fatores, diminuindo assim o risco de ter prejuízo no investimento.

Para trabalhos futuros, propõe-se a utilização dessa metodologia fixando os parâmetros horário e dia da operação, para uma operação ininterrupta durante todo o ano. Desta forma, varia-se apenas os parâmetros de dimensionamento do SFCR, como quantidade de módulos FV e a área necessária de instalação. Também é possível simular cenários não ideais, como os com incidência de sombra e orientação solar não otimizada. O objetivo será encontrar o ponto ótimo de dimensionamento que não necessariamente seja um sistema que atenda 100% da demanda do minerador sempre, mas sim um sistema que gere um resultado líquido de lucro 24 horas por dia o ano todo ou que, no pior dia do ano, não gere prejuízo. Está é uma proposta de solução para contornar o problema de exposição aos riscos por tempo elevado, assim, ao aumentar o investimento inicial no SFCR, se diminuirá o tempo necessário para o retorno do investimento.

Este artigo não é uma recomendação de investimento. Propõe aqui estudos mais detalhados de cenários nos quais considera-se a viabilidade da utilização de uma quantidade maior de módulos FV na instalação do SFCR, além da quantidade analisada no caso estudado.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Ranking de Tarifas 2023**. Disponível em <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/rankingtarifas>. Acessado em: 19/03/2023.

FILHO, Agripino P. S.; NETO, Heleno C.; ANDRADE, Maria A. S.; OLIVEIRA, Talles C. L. **Mineração de criptomoedas utilizando energias renováveis**. II Simpósio de pós-graduação em engenharia mecânica da Universidade Federal de Campina Grande - coletânea de artigos. Campina Grande: Poisson, p. 8-18, 2018. Disponível em: <https://www.poisson.com.br/livros/individuais/Simpgen/2018/>. Acessado em: 19/03/2023.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **INMET Tempo**. Disponível em <https://tempo.inmet.gov.br/>. Acessado em 14/04/2023.

LABEEE, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Arquivos climáticos INMET 2018**. Disponível em <https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2018>. Acessado em: 24/01/2023.

NAKAMOTO, Satoshi. **Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System**, 2009. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Acessado em: 19/03/2023.

NIMER, E. **Um modelo metodológico de classificação de climas**. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro: IBGE, v. 41, n. 4, p. 59-89, out./dez. 1979. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/115/rbg_1979_v41_n4.pdf. Acessado em: 15/04/2023.

PARRO, Óscar A. **Generación de bitcoin con energía solar**. Trabajo Fin de Estudios (Grado en Ingeniería en Sistemas Industriales) - Universidad Europea de Madrid, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/20.500.12880/2065>. Acessado em: 19/03/2023.

PINHO, J.T.; GALDINO, M.A. **Energia Solar Fotovoltaica – conceitos e aplicações**. Grupo de Trabalho de Energia solar, GTES. CEPTEL – DTE – CRESESB, p. 144-253 mar. 2014.

SOLARGIS. **Solar resource maps of Brazil**. Disponível em <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/brazil>. Acessado em: 08/04/2023.

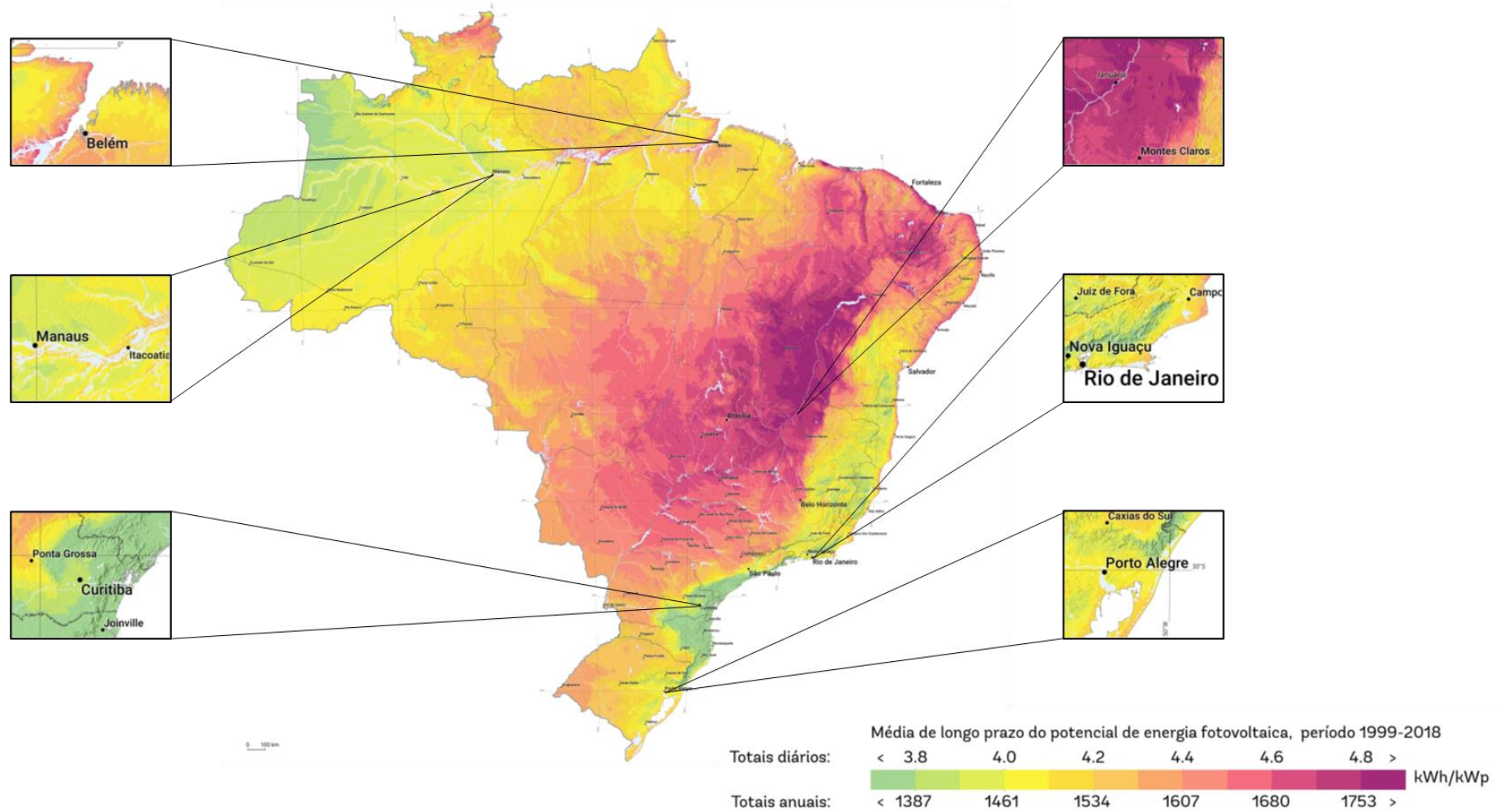
VILLALVA, M.G; GAZOLI, J.R. **Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e Aplicações**. 1ª Ed. São Paulo. Editora Érica Ltda., p. 152-222. 2012.

ZILES, R.; MACÊDO, W.N.; GALHARDO, M.A.B.; OLIVEIRA, S.H.F. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. 1ª Ed. São Paulo. Editora Oficina de Textos, p. 103-160. 2012.

7. ANEXOS

Anexo I – Potencial de Energia Fotovoltaica do Brasil

Figura 20 – Cidades selecionadas para a análise. Fonte: Adaptado de Solargis, *solar resource maps of Brazil* (2023).



8. APÊNDICE

Apêndice A – Esboços para os cenários de operação do SFCR propostos neste artigo

Figura 21 – Esquema do Resultado Líquido com Tarifa Convencional e Operação Contínua (R-COC). Fonte: o Autor.

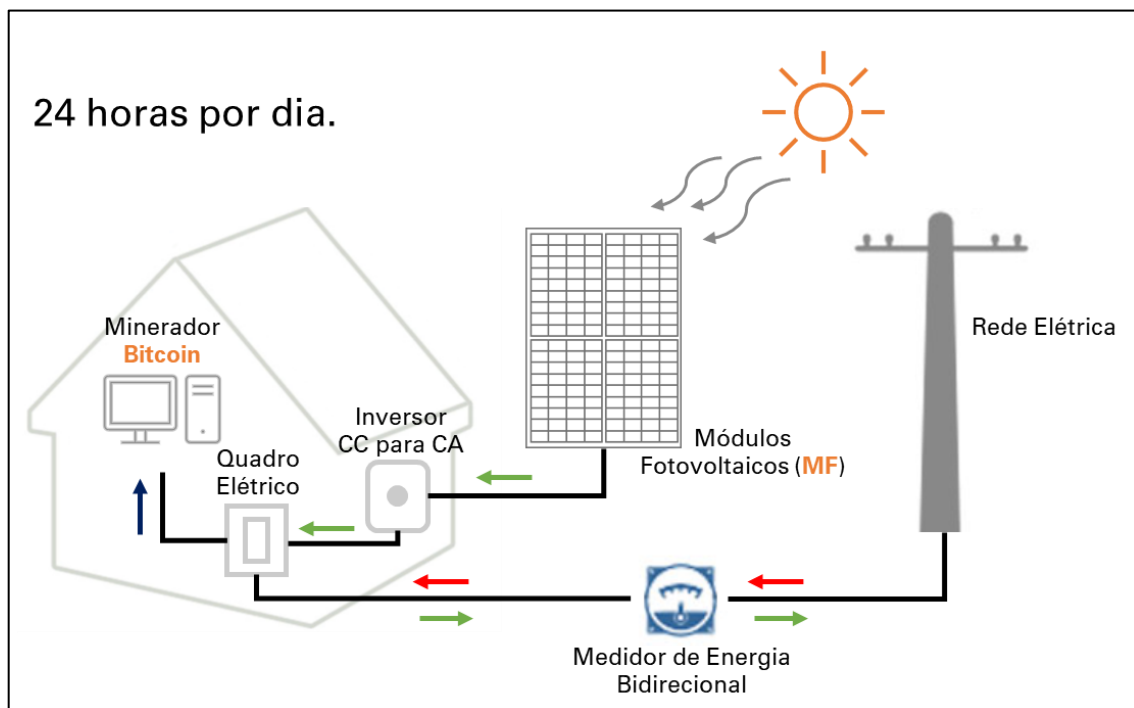


Figura 22 – Esquema do Resultado Líquido com Tarifa Branca e Operação Contínua (R-BOC). Fonte: o Autor.

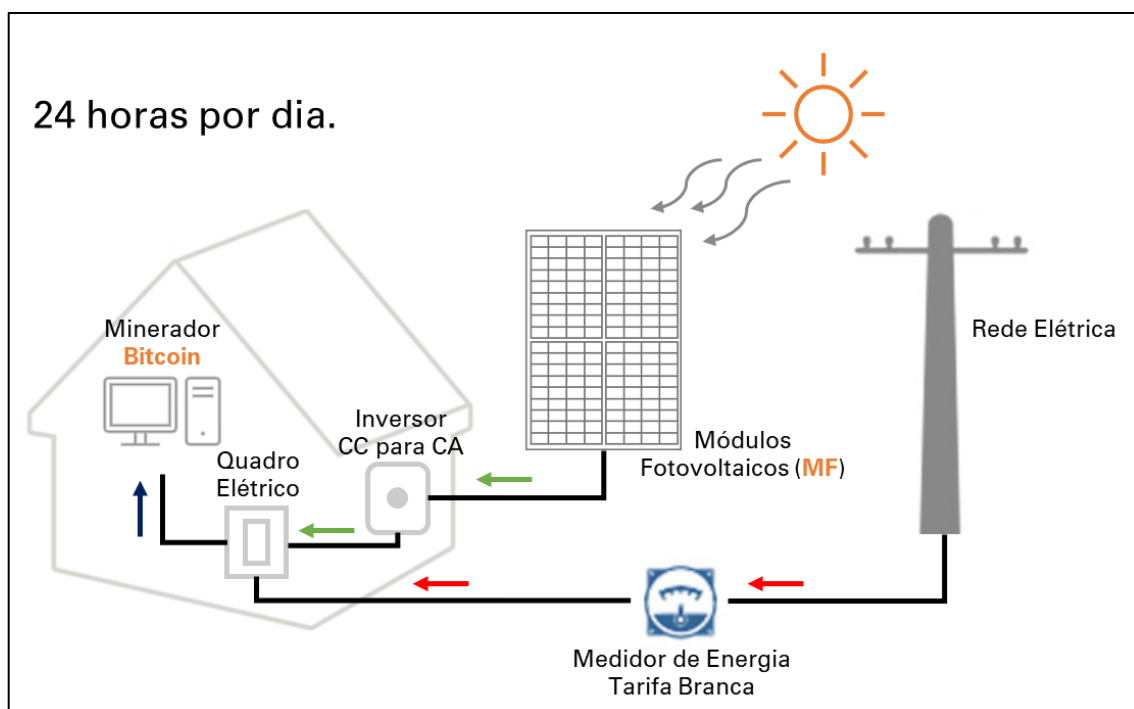


Figura 23 – Esquema do Resultado Líquido com Tarifa Convencional e Operação Intermitente Concorrente (**R-COIC**). Fonte: o Autor.

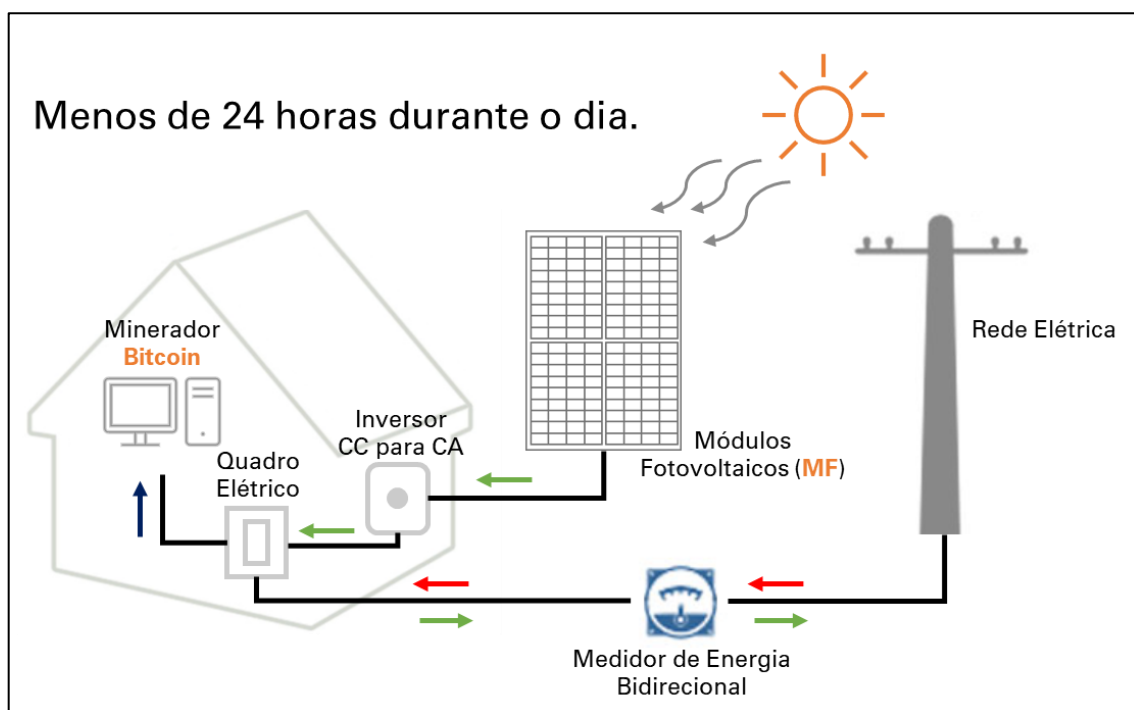


Figura 24 – Esquema do Resultado Líquido com Tarifa Branca e Operação Intermitente Concorrente (**R-BOIC**). Fonte: o Autor.

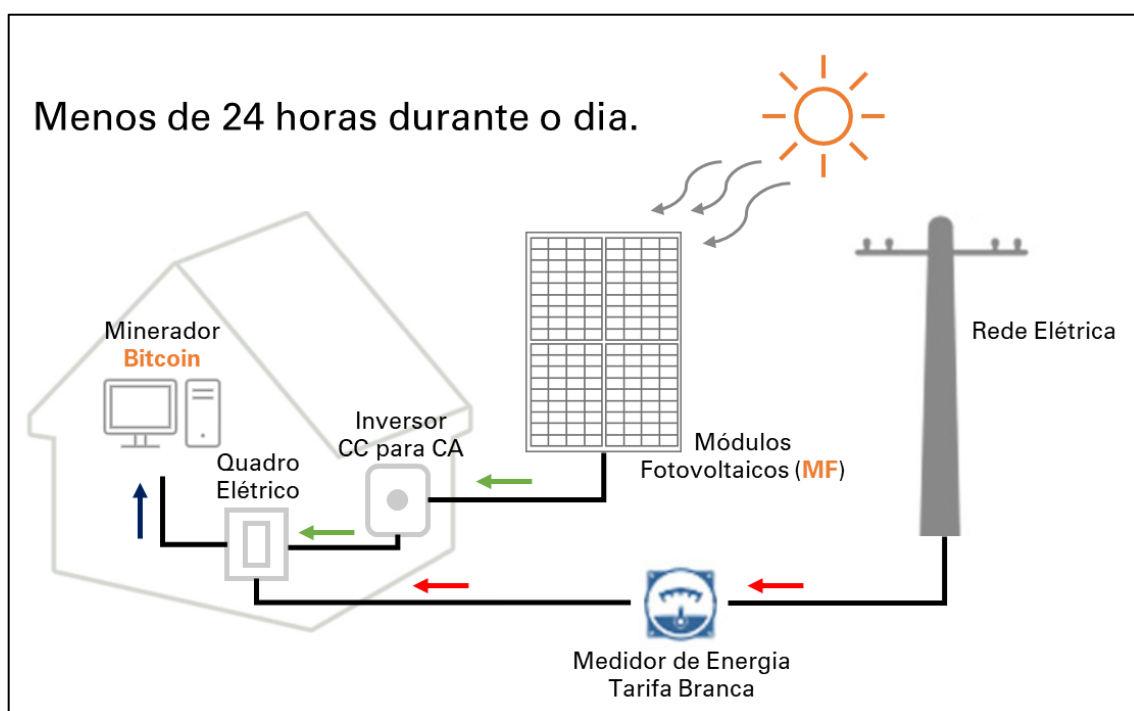
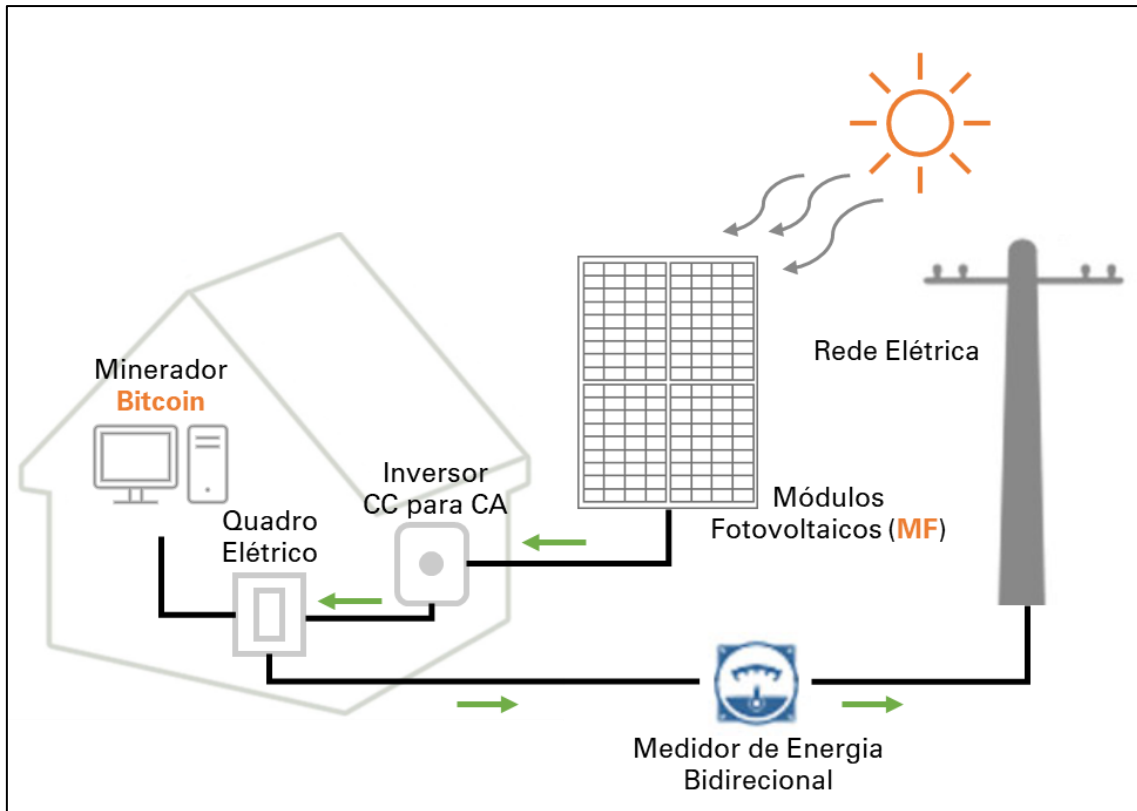
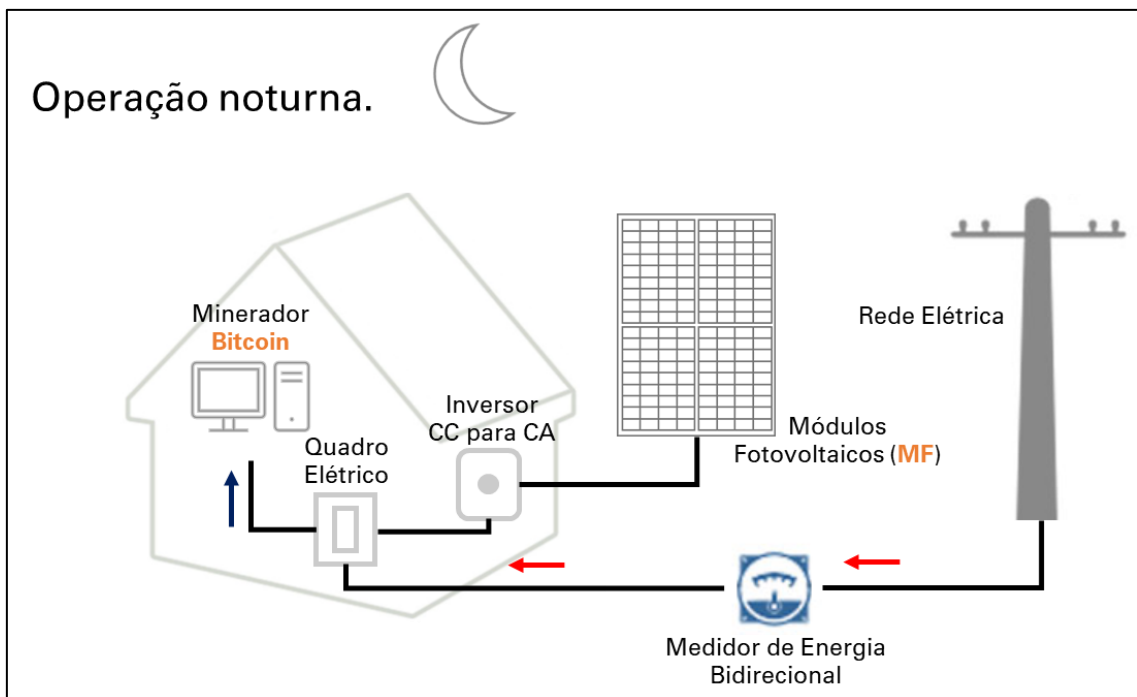


Figura 25 – Esquema do Resultado Líquido com Tarifa Convencional e Operação Intermitente Divergente (**R-COID**), com etapa de geração de energia (a) e etapa de consumo da energia (b). Fonte: o Autor.

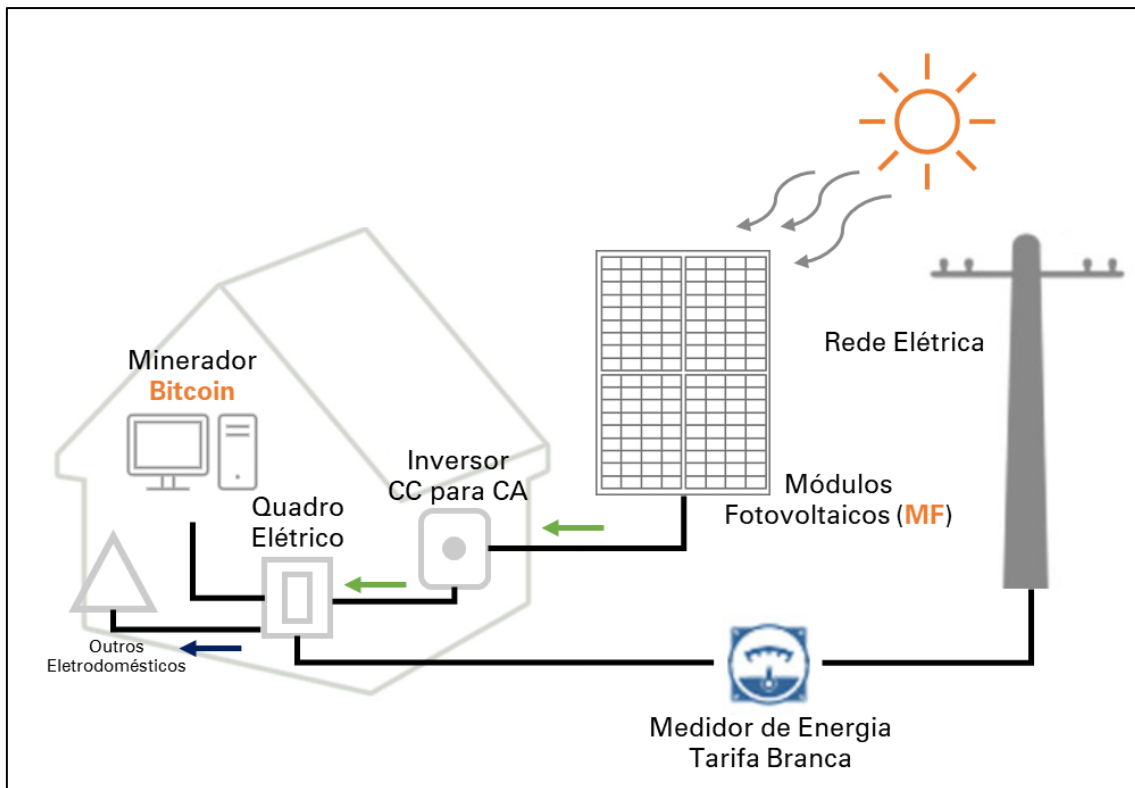


(a)

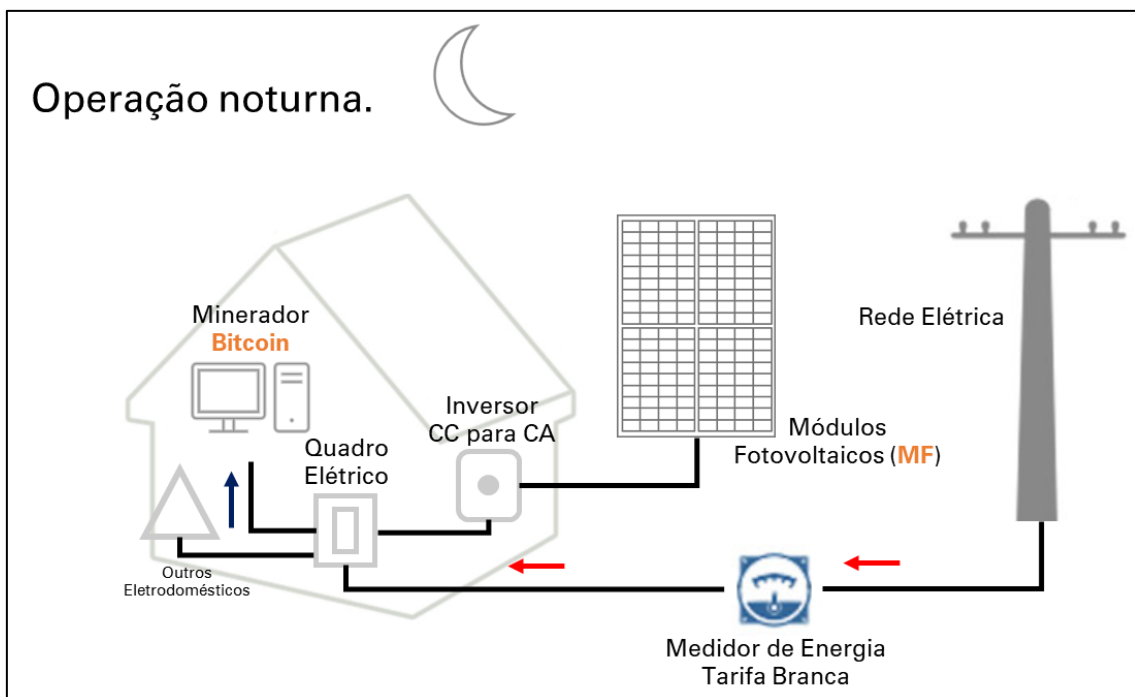


(b)

Figura 26 – Esquema do Resultado Líquido com Tarifa Branca e Operação Intermitente Divergente (**R-BOID**), com etapa de geração de energia (a) e etapa de consumo da energia (b).
Fonte: o Autor.



(a)



(b)