



PREFEITURA DE
CAMPOS

SECRETARIA MUNICIPAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA

 Mais
Ciência

ESTUDO DE VIABILIDADE PARA INSTALAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO HOSPITAL FERREIRA MACHADO

Orientador: Jonathan Velasco da Silva

Bolsista: Blenner Fernandes Machado

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA FLUMINENSE *CAMPUS*
CAMPOS CENTRO
2022/2023



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
1.2	JUSTIFICATIVA	5
1.3	PROBLEMA DA PESQUISA	5
1.4	OBJETIVOS	6
1.4.1	Objetivo geral	6
1.4.2	Objetivos específicos	6
2	REVISÃO DE LITERATURA	7
3	MATERIAIS E MÉTODOS	9
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	14

RESUMO

Trata-se do estudo da viabilidade técnico e financeira para a instalação de energia solar fotovoltaica *on-grid* no Hospital Ferreira Machado, situado em Campos dos Goytacazes, RJ. O objetivo é demonstrar os possíveis retornos financeiros com a instalação da energia solar fotovoltaica no hospital, além de determinar a viabilidade técnica para o projeto. A pesquisa encontra justificativa na relevância dos sistemas de geração de energia fotovoltaica, tendo em vista que estes têm alcançado destaque devido aos retornos financeiros positivos. Para cumprir com os objetivos elencados, foi utilizado o método da simulação computacional, através do programa *PVsyst*. Com base em parâmetros como irradiância, categorias de módulos e inversores, sombreamento, ângulos de orientação das placas, entre outros, o programa é capaz de determinar a geração fotovoltaica real do sistema. A partir da modelagem matemática das variáveis envolvidas na geração fotovoltaica o *PVsyst* fornece ferramentas para estimativas de custos com alta precisão, também permitindo o entendimento dos gargalos relacionados à geração fotovoltaica. Os resultados preliminares retornam que existe viabilidade financeira para o projeto, com um *payback* médio de 5,4 anos. No entanto, o investimento inicial dependerá da potência a ser instalada, que no que lhe concerne depende da área adequada para a instalação de telhados. É possível observar no projeto, gargalos que podem impedir a ampliação do sistema, como a área de telhados adequados à instalação e a demanda contratada, e também desafios relacionados à homologação do projeto. O Hospital Ferreira Machado apresenta uma localização favorável à geração fotovoltaica, que reflete investimento com retornos financeiros mais atrativos que a média na região. Ademais apresenta os pré-requisitos necessários para a geração, embora haja pontos que deverão ser ajustados para o projeto ser bem-sucedido.

Palavras-chaves: Fotovoltaica, Financeiro, Viabilidade, Pvsyst, Geração.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas fotovoltaicos podem gerar altos ganhos financeiros, tendo casos em que o dinheiro investido pode ter um retorno de cerca de 6 vezes o investimento inicial. O fator econômico, assim como as vantagens técnicas, vem empurrando a quantidade de potência produzida por meio do sol em todo o Brasil. A energia solar fotovoltaica vem na contramão de tudo que é utilizado em termos de energia. Isto porque apresenta custos menores que os tradicionais praticados no mercado, além de ser uma tecnologia com dano próximo a zero ao meio ambiente. Desta forma pode contribuir com a redução dos elevados índices de emissão de carbono associados ao fornecimento de energia elétrica.

Visando ampla utilização desta fonte, a ANEEL aprovou em 2012 a resolução 482, “aprova a geração distribuída e descentralizada de energia” (ANEEL, 2012). Com um sistema de compensação, a energia produzida em excesso é inserida na rede do distribuidor. Em outras palavras, toda a energia que o produtor de energia por fonte solar não usar, é injetada na rede da distribuidora. Assim surgiu o sistema de créditos energéticos, onde a energia que o consumidor coloca na rede volta como créditos na conta de luz.

Em uma instalação fatores financeiros podem ter grande impacto, no caso de um hospital público o custo da energia pode tornar cada atendimento mais caro e precisar de mais verbas públicas para a manutenção dos serviços básicos. Atualmente o Ferreira Machado apresenta elevados custos com energia, problema que, se amenizado com a energia fotovoltaica, trará benefícios.

Este trabalho se propõe a projetar e testar por meio de ferramentas computacionais o impacto gerado por um sistema fotovoltaico no Hospital Ferreira Machado, focando nos resultados obtidos no setor financeiro. Fornecendo ao Ferreira Machado o projeto fotovoltaico, com os retornos financeiros. Tais resultados facilitarão a tomada de decisão quanto à viabilidade do sistema fotovoltaico para instalações próximas.

1.2 JUSTIFICATIVA

O fator principal da energia solar fotovoltaica ser tão promissora é a viabilidade monetária. Quando criada esta fonte foi usada em missões espaciais, onde era uma tecnologia restrita e caríssima, hoje em poucos anos pode gerar retorno igual ao investido, e até o final da vida útil das placas pode multiplicar o valor investido algumas vezes. Desta forma essa fonte pode amenizar problemas coligados aos valores de tarifa de energia elétrica no Hospital Ferreira Machado.

Hospitais são ambientes onde não podem haver interrupções de fornecimento, neste caso, a energia solar fotovoltaica torna-se ainda mais interessante, pelo fato de ter poder para suprimir algumas demandas em caso de quedas do sistema de distribuição diurnas.

Atualmente um dos temas mais falados no mundo são as fontes renováveis, fontes que sejam sustentáveis e não produzam destruição em grande escala. Em outras palavras, o mundo atual busca uma fonte de energia limpa e que seja imediatista, produzindo efeitos rápidos na economia e na crise energética mundial.

Além disso, entende-se como um exemplo regional um hospital que gera energia distribuída, tendo um gasto consciente de energia e maior aproveitamento dos recursos públicos. Aproveitando os excelentes índices de irradiação solar presentes na região.

Logo, a relevância da presente pesquisa está na relevância da energia solar fotovoltaica e sua capacidade de reduzir os custos com energia, aplicadas ao caso concreto do Hospital Ferreira Machado.

1.3 PROBLEMA DA PESQUISA

O Hospital Ferreira Machado apresenta elevado nível de consumo energético. Este consumo se faz, na maior parte, utilizando a malha energética nacional, ou seja, consumo de energia elétrica direto da concessionária, que gera gastos provenientes da concessionária. Quando o assunto é energia da concessionária gera alguns transtornos, como um elevado custo monetário e uma alta dependência de uma única fonte de

energia elétrica.

Pensando em um amplo sistema de geração solar fotovoltaico no hospital, pergunta-se: Quais seriam os impactos financeiros e técnicos da implantação de um sistema solar fotovoltaico on-grid no Hospital Ferreira Machado?

A hipótese inicial do trabalho é que a energia solar fotovoltaica é capaz de trazer bons retornos financeiros e é tecnicamente viável.

1.4 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo um estudo de viabilidade financeira e técnica para a instalação de um sistema fotovoltaico no hospital Ferreira Machado. O tópico “objetivos” será dividido em duas partes, quais sejam, objetivo geral e objetivo específico.

1.4.1 Objetivo geral

Descobrir se há viabilidade técnica e financeira para a instalação de energia solar fotovoltaica no Hospital Ferreira Machado, a partir da análise de dados como consumo perante a concessionária, localização da unidade e características da construção. O projeto se tornará viável caso seja tecnicamente possível e apresente um retorno financeiro compensatório ao cliente. Esse estudo será feito por meio de ferramentas computacionais, programa Pvsyst.

1.4.2 Objetivos específicos

Para chegar ao objetivo geral do trabalho serão utilizados os seguintes objetivos específicos: Analisar as contas de luz do Hospital no período de um ano, a fim de entender o consumo; Definir a base de dados de irradiação e clima a ser utilizada no Pvsyst; Realizar a visita técnica ao Hospital, a fim de entender os aspectos construtivos do local; Definir as angulações referentes ao módulo fotovoltaico; Definir a real irradiância presente sobre o plano dos módulos; Definir a escolha dos módulos e

inversores; Definir a modulação elétrica do sistema; Definir o posicionamento dos módulos; Definir os melhores telhados para a instalação; Definir investimento inicial; Definir o Payback, Payback descontado, ROI, VPL e TIR.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Existem diversas publicações mostrando o sucesso financeiro da energia solar fotovoltaica em regiões do Brasil. A publicação de Felipe Melo, Análise de Viabilidade Técnica e Econômica de um projeto fotovoltaico (Melo, 2020) foi realizada em 2020 no Estado de Florianópolis, como um estudo de caso para um investimento de energia em um estádio de futebol. No trabalho ele afirma que ao final de 25 anos o investimento inicial iria ser multiplicado 7 vezes, segue o trecho :

Os resultados podem ser considerados satisfatórios. Com um investimento inicial de R\$ 354.450,08, a análise de Payback indica que o investimento será liquidado no início do 5º ano de operação do sistema gerador. A análise de VPL resulta em um valor positivo, o que indica que o investimento é atraente, em comparação à taxa de atratividade estipulada através dos rendimentos médios da poupança nos últimos 10 anos. Porém, ele também indica que é positivo a partir do 12º ano de operação, sendo vantajoso a médio e longo prazos. Por fim, o retorno sobre o investimento (ROI), mostra que este sistema irá retornar ao investidor um total de R\$ 2.374.090,60 ao término do período de 25 anos, valor este aproximadamente sete (7) vezes o valor do investimento inicial. Também, pode-se ressaltar que os valores apresentados, ainda assim, desprezam ganhos indiretos, como a valorização do estádio e ganhos sócio-ambientais.(MELO, .2020, P.76)

Para o projeto no Hospital Ferreira Machado espera-se ganhos ainda mais eficientes que o estudo de Melo, devido à localização e ao fator de diversidade de energia que se torna mais interessante para hospitais.

Em sua pesquisa, Juliane Barbosa Santos e Charbel José Jabbour afirmam: “O uso de energia solar fotovoltaica torna-se uma alternativa válida envolvendo os hospitais pelo conhecimento de experiências bem-sucedidas” (SANTOS; JABBOUR, 2013 , p.275).

O Trabalho de Steffens, (2017, p.94) Estudo de Caso Técnico e Econômico para Aviários em Águas Mornas, traz uma escrita mais técnica (relacionada ao projeto em si) e também parâmetros financeiros. Em sua conclusão diz sobre a possibilidade da fotovoltaica suprir falhas para casos de falta da rede:

Não somente o investidor estará se beneficiando do gerador solar fotovoltaico, como também, sob o ponto de vista macro, o sistema interligado nacional toma vantagens, pois haverá redução de perdas devido à transmissão, redução de áreas exclusivas à produção energética e auxílio na redução dos picos de energia diurnos. Se forem considerados os benefícios ambientais e da sustentabilidade, a energia gerada através de painéis solares é proveniente de uma fonte limpa e inesgotável, de baixas manutenção, ocupação, degradação visual e isenta de geração de ruídos. O estudo de caso abrange um município com 24 granjas de mesmo padrão, as quais consomem juntas um total de aproximadamente 230016 kWh/ano. Caso todos os aviários adotassem a geração solar fotovoltaica, a economia gerada seria suficiente para 95 fornecer energia elétrica a 64 residências com consumo médio de 300 kWh/mês. (Steffens, 2017, p.94)

A greener realiza pesquisas de mercado relacionados a área de geração fotovoltaica no mercado nacional, fazendo apanhados junto às empresas integradoras, tais apanhados terão a média dos sistemas nacionais, sendo um material focado em estatísticas financeiras de apoio para empresas que realizam o serviço.

Caso haja questões que não possam ser resolvidas pelas bibliografias citadas acima utilizaremos o Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos de João Tavares Pinho e Marco Antonio Galdino (2014, v2), que se trata de um dos mais completos referenciais da área de sistemas fotovoltaicos.

Além dos artigos e materiais supracitados, também haverá a leitura e análise da resolução nº 482/2012, da ANEEL, que regulamenta a geração distribuída. Esta resolução trouxe mudanças aos consumidores de energia, regulamentando a possibilidade da geração distribuída, definindo sistemas de microgeração (menor que 75 KW de potência instalada) e minigeração (entre 75 KW e 5 MW).

Outro marco importante desta regulamentação é o sistema de compensação de

energia, onde a energia excedente que vai em direção a rede gera os chamados créditos, que ao precisar da energia novamente são gastos, sem gerar custos. Nem sempre o sistema de créditos é de 1 para 1, ou seja, energia que sai nem sempre é totalmente aproveitada pelo sistema de créditos. Nos casos onde existe horário de ponta (Grupo A), a energia gasta no horário de ponta não possui o proporcional de 1 para 1 com a energia gerada fora da ponta. A proporção pode ser obtida usando valores provenientes do contrato da concessionária de energia com a Aneel. A resolução 482 também abre possibilidade para o abatimento de mais de uma conta de energia, sem utilizar mais de um sistema fotovoltaico, bastando as contas estarem no mesmo CPF e sob a responsabilidade da mesma concessionária de energia. É importante entender que esta resolução não muda nada quanto ao pagamento pela disponibilidade de energia ou fatura mínima (para o caso de baixa tensão), pois os consumidores Grupo A continuar pagando pelo valor da demanda contratada. Os créditos mudam apenas a relação de consumo de potência ativa e reativa. Logo, não é possível zerar o valor da conta, mas é possível zerar o valor do consumo (ainda existirá o valor pago pela demanda).

É necessário também, para o correto dimensionamento identificar fatores que levam as perdas de energia solar fotovoltaica Araújo e Abrantes (2019) disserta sobre fatores que levam a perda de eficiência no módulo “Este local deve ter uma boa incidência de luz solar e deve ser evitada ao máximo a presença de elementos que possam causar sombreamento sobre algum dos módulos.”. Além destes, falam também de outros fatores como: perdas nos inversores, por sujeira, por temperatura, descasamento de módulos, perdas ohmicas, entre outras.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O foco do estudo será entender qual seria o retorno financeiro do uso da energia fotovoltaica no Hospital Ferreira Machado e a viabilidade técnica encontrada para a instalação deste sistema. Trata-se de uma pesquisa aplicada, utilizando-se de métodos

quantitativos e simulação computacional, utilizando esforços versus resultados, para analisar os resultados finais.

Inicialmente foi preciso o levantamento de dados do hospital, obtidos com a direção do Hospital Ferreira Machado. Este levantamento foi realizado com a intenção de obter as características do consumidor de energia elétrica “Hospital Ferreira Machado”. Assim, foram solicitadas as cobranças de energia da concessionária ao Hospital nos últimos 12 meses. Em seguida, tais dados foram passados a uma planilha no EXCEL, com o intuito de possuírem um tratamento relativamente mais simples e dinâmico.

Planilha com dados de contas de energia :

MÊS	Consumo(kW)		Valor (Ponta)	Valor Unitário(ponta)	Valor (F.Ponta)	Valor Unitário(F.ponta)
	Hora ponta	Fora Ponta				
Agosto	12217,8	131964	R\$ 9.315,65	R\$ 0,76	R\$ 74.205,93	R\$ 0,56
Julho	12434,1	120750	R\$ 9.712,22	R\$ 0,78	R\$ 69.550,50	R\$ 0,58
Junho	13852,65	142884	-	-	-	-
Maio	14913,36	165291	R\$ 15.318,43	R\$ 1,03	R\$ 125.198,14	R\$ 0,76
Abril	18134,55	185346	R\$ 16.823,71	R\$ 0,93	R\$ 126.090,48	R\$ 0,68
Março	14383,74	148764				
Fevereiro	15805,65	171255				
Janeiro	15536,85	155631				
Dezembro	11860,17	127932				
Novembro	9830,52	112140				
Outubro	10858,68	111090				
Setembro	9271,71	93240				
Agosto	8610	85974				
Julho	8529	91476				
Junho	10293	112182				
Maio	10803	125370				
Abril	14860	156198				

Após entender o perfil de consumo energético do hospital, o próximo passo foi iniciar a análise computacional utilizando o Pvsyst, programa que possui algumas bases de dados voltadas ao cálculo da real eficiência do dimensionamento fotovoltaico. Inicialmente foi necessário encontrar a localização geográfica exata do Hospital. A fim de obter a correta irradiância e clima local, utilizou-se o programa Google Maps para a correta latitude e longitude e inseri-la na simulação.

Definiu -se também a base de dados meteorológicos a ser utilizada, tanto para irradiação, quanto para o clima. Para as duas a base de dados escolhida foi a *Meteonorm8.0*, que apresenta valores similares às bases mais reconhecidas no mercado nacional.

Posteriormente foi realizado o desenho do prédio em um modelo 3D, para tal, foram utilizadas medições realizadas durante a visita ao prédio e também informações obtidas com o Google Maps, nesta etapa é importante que o prédio modelado tenha características mais próximas possível a do prédio real, como forma de obter a correta irradiância incidida sobre a superfície dos módulos fotovoltaicos. Para isso é preciso a correta inserção da angulação do prédio perante ao norte geográfico, a correta angulação do telhado do prédio, e conseqüentemente dos módulos, com relação ao chão, além de precisar de características dos arredores da construção e também das diferentes alturas dos telhados locais, como forma de entender se tais superfícies darão sombreamento nos módulos fotovoltaicos. No desenho também é definido a localização exata dos módulos fotovoltaicos. A principal ideia da modelagem do prédio é de entender qual será a irradiância sobre os módulos.

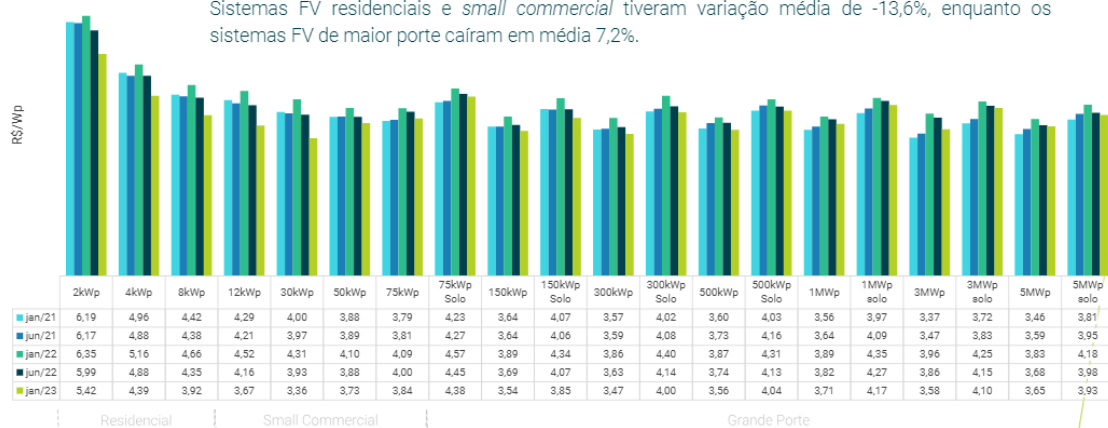
O próximo passo trata-se de inserir os tipos de geradores e inversores que estarão ligados ao processo de geração, juntamente com suas respectivas quantidades, sempre respeitando suas características elétricas. A partir disso o sistema é capaz de retornar um relatório que possui dados da geração estimada do sistema.

Foi realizado também um estudo como forma de entender quais dos telhados tem melhor aproveitamento energético em relação a quantidade de módulos fotovoltaicos, para tal estudo foi realizado a simulação para cada um dos seis conjuntos módulos/inversor.

Após o retorno do relatório do programa foi preciso buscar o preço no mercado local de tal sistema fotovoltaico, como forma de entender qual é a relação de custo/benefício do projeto e se é realmente financeiramente atrativo sua realização. O manual fotovoltaico da Greener foi utilizado como banco de dados nesta etapa, já que possui os valores médios de sistemas fotovoltaicos do mercado nacional.

Preços sistemas FV

- Em média, os preços para o cliente final em 2022 apresentaram **queda de 12%** em relação à 2021. Sistemas FV residenciais e *small commercial* tiveram variação média de -13,6%, enquanto os sistemas FV de maior porte caíram em média 7,2%.



Fonte: Greener, 2023.

87

Fonte: Greener, 2023

Com valores relativos ao custo do sistema, geração energética e tarifa de energia foi possível calcular índices financeiros que indicam a atratividade do investimento. Os índices calculados foram Payback, fluxo de caixa descontado, VPL, TIR, Payback descontado e ROI.

O payback é calculado da seguinte forma:

$$\text{Payback} = \frac{\text{Custo inicial}}{\text{Retorno anual}}$$

O fluxo de caixa descontado segue o padrão:

$$\text{Fluxo des. (ano)} = \frac{\text{Fluxo de caixa (ano)}}{(1+TMA)^{\text{ano}}}$$

TMA é a taxa mínima de atratividade, é comum utilizar valores de investimentos seguros.

O VPL por sua vez é a soma de todos os valores de fluxo de caixa descontado até o ano que está sendo analisado.

O Payback descontado é igual :

$$\text{Payback des.} = N^{\circ}\text{ano} + \frac{|F.\text{ano}(-)|}{|F.\text{ano}(-)| + |F.\text{ano}(+)|}$$

Sendo:

- F.Ano(+) o valor do VPL do primeiro ano onde o fluxo de caixa descontado tem valor positivo
- F.ano(-) o valor VPL do ano anterior ao do F.ano(+).
- N°ano é o ano onde o VPL torna-se positivo.

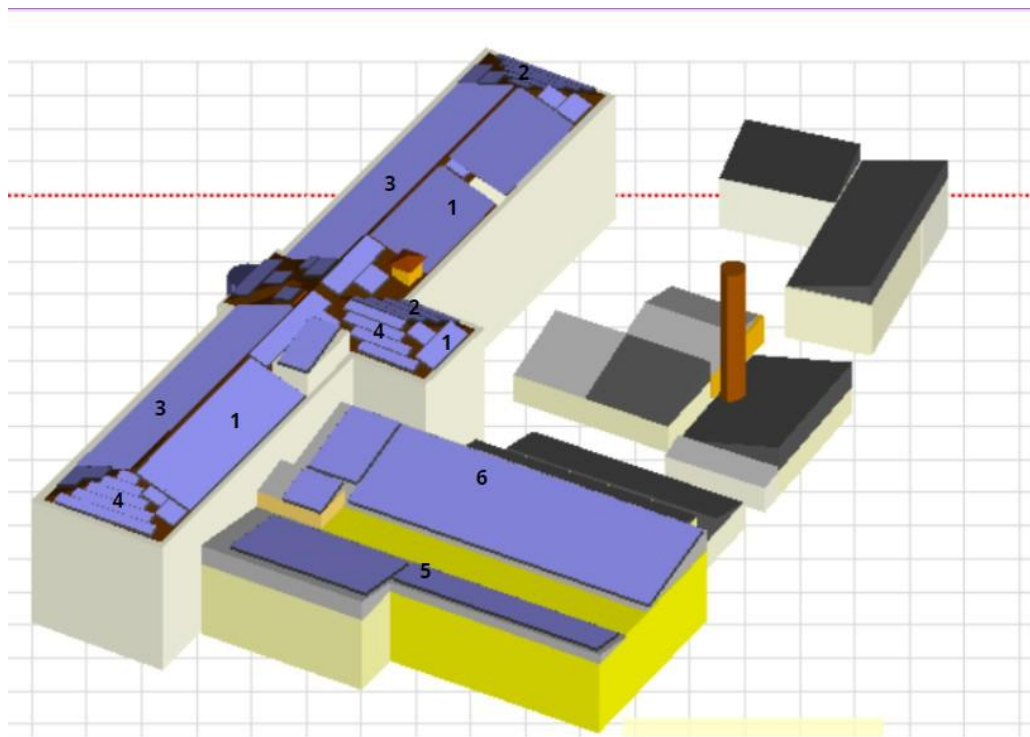
O ROI é calculado da seguinte forma:

$$\text{ROI}(\%) = \frac{\text{Retorno anual}}{\text{Custo inicial}} \cdot \text{quant. anos} \cdot 100$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A modulação tridimensional das posições dos painéis é importante para gerar a análise matemática da irradiância que incide sobre o plano dos módulos fotovoltaicos. O programa analisa a irradiância transmitida sobre o plano a cada 15 minutos, durante o período de 1 ano, já que de ano para ano as características se repetem.

Figura - Retirado do Pvsyst, Modulação dos painéis



Quanto às simulações visando os melhores telhados a instalação, foi gerada a seguinte planilha:

Nº	Azimute	PR	Potência instalada (KWp)
1	59º	0.832	70
2	148º	0.835	11
3	-121º	0.844	82
4	-29º	0.827	11
5	150º	0.792	40
6	-29º	0.818	72

Os valores de PR da tabela sofreram influência também dos investidores ligados aos módulos. Foi visto que quanto maior o número de strings por MPPT em um mesmo inversor mais perdas há neste, o que acaba impactando também no rendimento global do sistema por números de módulos, PR. Tal característica acaba influenciando tanto no PR dos sistemas, quanto na posição dos módulos em relação ao sol. Foi perceptível também, a diferença dada pelo sombreamento (módulos 5 e 6). Os telhados foram numerados conforme a última figura. O PR obtido em todos os telhados analisados é considerado bom.

Com a modulação do prédio e as entradas sobre o tipo de painéis e inversores foi gerado um relatório, tendo como base um banco de dados com a irradiação local. O relatório estará disponível como anexo I deste documento. Em resumo, o relatório apresenta que o sistema tem 287KWp de potência de placas subdivididos em 6 grupos fotovoltaicos diferentes. Para isso é necessário 718 módulos em uma área de 1424m², 6 inversores. Que irão gerar 411,74MWh anuais com performance ration de 0,805. As placas utilizadas foram da Jinkosolar, modelo JKM400M-72-V. Já os inversores da

Canadian Solar têm modelos variados. São eles: 3xCSI-60KTL-GS; 2xCSI-9KTL1P-GI-FL; 1xCSI-25K-T400-GL02-E.

A potência de geração instalada na simulação foi de 287 KWp, que culminou em uma geração de 405 MW/h anuais, sendo o valor do KWh no período fora de ponta R\$0,57599, o valor em dinheiro gerado anualmente será de R\$ 233.218,35. O valor do sistema foi calculado em R\$ 1.090.600,00, sendo R\$ 3,80 por Wp de potência desta forma o sistema alcançou um Payback de 4,67 anos, levando em consideração a tarifa de energia do ano de 2022.

O sistema nunca irá compensar parte da energia consumida no horário de ponta, já que sempre existe débito de energia no horário fora de ponta.

Os resultados dos cálculos financeiros :

	4,676304396
Payback descontado	R\$ 5,76
ROI	435%
TIR	26%

Ano	Preço da Fatura	Potência gerada anualmente	Fluxo de Caixa	Fluxo de caixa descontado	VPL
Investimento			-R\$ 1.090.600,00	-R\$ 1.090.600,00	-R\$ 1.090.600,00
1	0,57599	404900	233218,351	212016,6827	-R\$ 878.583,32
2	0,609685415	400851	244393,0083	201977,6928	-R\$ 676.605,62

3	0,645352012	396842,49	256103,0993	192414,049	-R\$ 484.191,58
4	0,683105104	392874,0651	268374,2793	183303,2438	-R\$ 300.888,33
5	0,723066753	388945,3244	281233,4329	174623,8352	-R\$ 126.264,50
6	0,765366158	385055,8712	294708,7328	166355,3966	R\$ 40.090,90
7	0,810140078	381205,3125	308829,7017	158478,4686	R\$ 198.569,37
8	0,857533273	377393,2594	323627,2769	150974,5131	R\$ 349.543,88
9	0,907698969	373619,3268	339133,8779	143825,8699	R\$ 493.369,75
10	0,960799359	369883,1335	355383,4776	137015,715	R\$ 630.385,47
11	1,017006122	366184,3022	372411,677	130528,0209	R\$ 760.913,49
12	1,07650098	362522,4591	390255,7825	124347,5191	R\$ 885.261,01
13	1,139476287	358897,2346	408954,8883	118459,6641	R\$ 1.003.720,67
14	1,20613565	355308,2622	428549,9618	112850,599	R\$ 1.116.571,27
15	1,276694585	351755,1796	90322,51151	21622,49113	R\$ 1.138.193,76
16	1,351381219	348237,6278	470601,7898	102416,6608	R\$ 1.240.610,42
17	1,43043702	344755,2515	493150,6746	97567,23193	R\$ 1.338.177,65
18	1,514117586	341307,699	516779,9892	92947,4235	R\$ 1.431.125,08
19	1,602693464	337894,622	541541,5023	88546,363	R\$ 1.519.671,44
20	1,696451032	334515,6758	567489,4634	84353,69271	R\$ 1.604.025,13
21	1,795693417	331170,519	594680,7211	80359,54536	R\$ 1.684.384,68
22	1,900741482	327858,8138	623174,8478	76554,52089	R\$ 1.760.939,20
23	2,011934859	324580,2257	653034,2707	72929,66432	R\$ 1.833.868,86
24	2,129633048	321334,4234	684324,4077	69476,44472	R\$ 1.903.345,31
25	2,254216582	318121,0792	717113,8117	66186,73506	R\$ 1.969.532,04

Nesta planilha é levado em consideração um aumento no valor da tarifa de energia

de 5,85% anuais, enquanto o valor da potência instalada decai a 1% ao ano. A taxa mínima de atratividade utilizada no cálculo do VPL é de 10 % ao ano. Além disso, foi considerado um custo de R\$358.761,00 no 15º ano, considerando a troca de inversores, com o preço dos mesmos já corrigidos para o décimo quinto ano por um acréscimo de valor 5,85% anual no preço atual.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o presente trabalho foi gerado uma pasta no google drive, no seguinte link: < [https://drive.google.com/drive/folders/1v-jbimsyj-r1_XAeH9RIIBibQZEIOkMJ?usp=sh aring](https://drive.google.com/drive/folders/1v-jbimsyj-r1_XAeH9RIIBibQZEIOkMJ?usp=sharing) >. Tal arquivo apresenta os documentos editáveis das planilhas e arquivos de simulação deste trabalho.

A realização do trabalho provou a hipótese inicial de que haveria retornos financeiros atrativos na implementação do sistema. Os índices financeiros calculados indicaram atratividade no investimento, com um payback próximo aos 5 anos. O VPL teve um valor final positivo a uma taxa mínima de 10% anuais, enquanto a TIR indicou que para ter o mesmo retorno seria necessário uma TMA de 25%. O payback descontado, por sua vez, teve valor próximo a 5,76 anos, o que indica um bom investimento.

O sistema é limitado pela área de telhados disponível. A área disponível para a instalação é de 1475,4m², em tal área foi pensado um sistema de 287 KWp. Para conseguir aumentar a potência instalada é preciso mais telhados que possuam os pré-requisitos necessários para a instalação. O Ferreira Machado apresenta alguns outros telhados disponíveis, sendo eles mais antigos ou com telhas mais frágeis. Com a limitação de telhados superada poderiam ser pensadas outras formas de compensação na tarifa, como por exemplo, aumento de demanda, a fim do aumento da geração. Com tais modificações seria possível compensar também o consumo em horário de ponta.

Para além disso, existem possíveis dificuldades com a homologação do projeto. Com a visita foi possível verificar que a instalação elétrica do Hospital é antiga, conseqüentemente, é provável que não siga os padrões exigidos atualmente, o que pode levar a custos adicionais no projeto e necessidade de mais atenção no momento

da homologação.

A relação dos realizadores deste trabalho com a Secretária de Educação de Campos foi boa durante o estudo, as demandas criadas pelo projeto sempre foram atendidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANTES, A.; ARAÚJO, A. A busca pela eficiência dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede: uma análise sobre os principais fatores de perda, soluções e inovações. 2019. Disponível em: < <https://revistatecie.crea.pr.org.br/index.php/revista/article/view/568/425> >

ANEEL, **RESOLUÇÃO** **NORMATIVA** **Nº 482**, de 17 de abril de 2012. <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>> . Acesso em 18/08/2022 as 14h.

Grenner. O Estudo Estratégico do Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída. Mercado Fotovoltaico. Fevereiro/2023. 147. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-geracao-distribuida-2022-mercado-fotovoltaico-2-semester/>

Hospital Ferreira Machado. 2023. **Mapas do Google. Google.** 15/12/2023. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Hospital+Ferreira+Machado/@-21.7438691,41.3356576,17z/data=!3m1!4m6!3m5!1s0xbdd459a6899ca1:0x33b49571c801c55f!8m2!3d-21.7438691!4d-41.3334689!16s%2Fg%2F1th0cpkv> >

MELO, Felipe. **ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM PROJETO FOTOVOLTAICO**, 2020. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/204336/TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 18/08/2022 às 12h.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>

PINHO, J. T. GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, março de 2014. Disponível em: <

http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em 20/08/2022 às 15h.

SANTOS, Juliane Barbosa dos; JABBOUR, Charbel José Chiappetta. **Adoção da energia solar fotovoltaica em hospitais: revisando a literatura e algumas experiências internacionais**. Saúde e sociedade, v. 22, p. 972-977, 2013. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/sausoc/a/DVsCfbxDW7dJGvYRzwFHnXf/abstract/?lang=pt>>
Acesso em : 03/09/2022.

STEFFENS, E. **Microgeração Solar Distribuída: Estudo de Caso Técnico e Econômico para Aviários em Águas Mornas - SC**. UFSC, Florianópolis, SC, 2017. Disponível em:< <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/182126>>
Acesso em: 24/10;2022.

ANEXOS

PVsyst - Relatório da simulação

Sistema acoplado à rede

Projeto: Ferreira machado

Variante: Prédio completo versão final 09

Sistema instalado num edifício

Potência sistema: 287 kWp

Campos dos Goytacazes - Hospital Ferreira Machado - Brasil



Projeto: Ferreira machado

Variante: Prédio completo versão final 09

PVsyst V7.2.5

VCI, Data da simulação: 23/06/23 04:44
com v7.2.5

Resumo do projeto

Localização geográfica

Campos dos Goytacazes - Hospital Ferreira Machado

Brasil

Localização

Latitude -21.74 °S
Longitude -41.33 °W
Altitude 14 m
Fuso horário UTC-3

Parâmetros projeto

Albedo 0.20

Dados meteorológicos

Campos dos Goytacazes
Meteonorm 8.0 (1986-2005), Sat=100% - Synthetic

Resumo do sistema

Sistema acoplado à rede

Orientação do plano dos módulos

Planos fixos 6 orientações
Inclin/azimutes 20 / 59 °
21 / 148 °
20 / -121 °
21 / -31 °
12 / 150 °
12 / -30 °

Sistema instalado num edifício

Sombras próximas

Sombras lineares

Exigências do consumidor

Carga ilimitada (rede)

Informação do sistema

Grupo FV

Número de módulos 718 unidades
Pnom total 287 kWp

Inversores

Número de unidades 7.3 unidades
Pnom total 279 kWca
Rácio Pnom 1.030

Resumo dos resultados

Energia produzida 404.9 MWh/ano Produção específica 1410 kWh/kWp/ano Índice de perf. PR 80.54 %

Índice

Resumo do projeto e dos resultados	2
Parâmetros gerais, Características do grupo FV, Perdas do sistema	3
Definição das sombras próximas - Diagrama das iso-sombras	7
Resultados principais	8
Diagrama de perdas	9
Gráficos especiais	10
Avaliação P50 – P90	11



PVsyst V7.2.5

VCI, Data da simulação: 23/06/23 04:44
com v7.2.5

Parâmetros gerais

Sistema acoplado à rede

Orientação do plano dos módulos

Orientação

Planos fixos	6 orientações
Inclin/azimutes	20 / 59 °
	21 / 148 °
	20 / -121 °
	21 / -31 °
	12 / 150 °
	12 / -30 °

Horizonte

Sem horizonte

Sistema instalado num edifício

Configuração dos sheds

Modelos utilizados

Transposição	Perez
Difuso	Perez, Meteonorm
Cicumsolar	separado

Sombras próximas

Sombras lineares

Exigências do consumidor

Carga ilimitada (rede)

Características do grupo FV

Grupo #1 - Grupo FV

Orientação	#1
Inclinação/Azimute	20/59 °

Módulo FV

Fabricante	Jinkosolar
Modelo	JKM400M-72-V
(Base de dados original do PVsyst)	

Potência unitária	400 Wp
Número de módulos FV	180 unidades
Nominal (STC)	72.0 kWp
Módulos	10 Strings x 18 Em série

Em condições de func. (50°C)

Pmpp	65.5 kWp
Umpp	666 V
I mpp	98 A

Módulo FV

Fabricante	Jinkosolar
Modelo	JKM400M-72-V
(Base de dados original do PVsyst)	

Potência unitária	400 Wp
Número de módulos FV	54 unidades
Nominal (STC)	21.60 kWp

Grupo #2 - Sub-grupo #2

Orientação	#2
Inclinação/Azimute	21/148 °
Número de módulos FV	27 unidades
Nominal (STC)	10.80 kWp
Módulos	3 Strings x 9 Em série

Em condições de func. (50°C)

Pmpp	9.83 kWp
Umpp	333 V
I mpp	30 A

Inversor

Fabricante	Canadian Solar Inc.
Modelo	CSI-50KTL-GI
(Base de dados original do PVsyst)	

Potência unitária	50.0 kWca
Número de inversores	5 * MPPT 25% 1.3 unit
Potência total	62.5 kWca
Tensão de funcionamento	200-1000 V
Rácio Pnom (DC:AC)	1.15

Inversor

Fabricante	Canadian Solar Inc.
Modelo	CSI-9KTL1P-GI-FL
(Base de dados original do PVsyst)	

Potência unitária	9.00 kWca
Número de inversores	2 unidades
Potência total	18.0 kWca

Número de inversores	3 * MPPT 33% 1 unit
Potência total	9.0 kWca

Tensão de funcionamento	100-500 V
Rácio Pnom (DC:AC)	1.20



PVsyst V7.2.5

VCI, Data da simulação: 23/06/23 04:44
com v7.2.5

Características do grupo FV

Grupo #3 - Sub-grupo #3

Orientação	#4
Inclinação/Azimute	21/-31 °
Número de módulos FV	27 unidades
Nominal (STC)	10.80 kWp
Módulos	3 Strings x 9 Em série

Em condições de func. (50°C)

Pmpp	9.83 kWp
Umpp	333 V
I mpp	30 A

Módulo FV

Fabricante	Jinkosolar
Modelo	JKM400M-72-V

(Base de dados original do PVsyst)

Potência unitária	400 Wp
Número de módulos FV	384 unidades
Nominal (STC)	154 kWp

Grupo #4 - Sub-grupo #4

Orientação	#3
Inclinação/Azimute	20/-121 °
Número de módulos FV	204 unidades
Nominal (STC)	81.6 kWp
Módulos	12 Strings x 17 Em série

Em condições de func. (50°C)

Pmpp	74.3 kWp
Umpp	629 V
I mpp	118 A

Grupo #5 - Sub-grupo #5

Orientação	#6
Inclinação/Azimute	12/-30 °
Número de módulos FV	180 unidades
Nominal (STC)	72.0 kWp
Módulos	10 Strings x 18 Em série

Em condições de func. (50°C)

Pmpp	65.5 kWp
Umpp	666 V
I mpp	98 A

Grupo #6 - Sub-grupo #6

Orientação	#5
Inclinação/Azimute	12/150 °

Módulo FV

Fabricante	Jinkosolar
Modelo	JKM400M-72-V

(Base de dados original do PVsyst)

Potência unitária	400 Wp
Número de módulos FV	100 unidades
Nominal (STC)	40.0 kWp
Módulos	5 Strings x 20 Em série

Em condições de func. (50°C)

Pmpp	36.4 kWp
Umpp	740 V
I mpp	49 A

Número de inversores	3 * MPPT 33% 1 unit
Potência total	9.0 kWca

Tensão de funcionamento	100-500 V
Rácio Pnom (DC:AC)	1.20

Inversor

Fabricante	Canadian Solar Inc.
Modelo	CSI-60KTL-GS

(Base de dados original do PVsyst)

Potência unitária	60.0 kWca
Número de inversores	2.8 unidades
Potência total	165 kWca

Número de inversores	6 * MPPT 25% 1.5 units
Potência total	90.0 kWca

Tensão de funcionamento	200-850 V
Rácio Pnom (DC:AC)	0.91

Número de inversores	5 * MPPT 25% 1.3 unit
Potência total	75.0 kWca

Tensão de funcionamento	200-850 V
Rácio Pnom (DC:AC)	0.96

Inversor

Fabricante	Canadian Solar Inc.
Modelo	CSI-25K-T400-GL02-E

(Base de dados original do PVsyst)

Potência unitária	25.0 kWca
Número de inversores	4 * MPPT 33% 1.3 unit
Potência total	33.3 kWca
Tensão de funcionamento	200-1000 V
Rácio Pnom (DC:AC)	1.20



Projeto: Ferreira machado

Variante: Prédio completo versão final 09

PVsyst V7.2.5

VCI, Data da simulação: 23/06/23 04:44
com v7.2.5

Características do grupo FV

Potência FV total		Potência total inversor	
Nominal (STC)	287 kWp	Potência total	279 kWca
Total	718 módulos	N.º de inversores	8 unidades
Superfície módulos	1424 m ²		0.7 Não utilizado
Superfície célula	1287 m ²	Rácio Pnom	1.03



PVsyst V7.2.5

VCI, Data da simulação: 23/06/23 04:44
com v7.2.5

Perdas do grupo

Perdas sujidade grupo

Fração perdas 3.0 %

Fator de perdas térm.

Temperatura módulos em função irradiância

Uc (const.) 20.0 W/m²KUv (vento) 0.0 W/m²K/m/s

Perdas de qualidade dos módulos

Fração perdas -0.8 %

Perdas dos módulos com mismatch

Fração perdas 2.0 % no MPP

Perdas devidas a mismatch, em fiadas

Fração perdas 0.1 %

Fator de perda IAM

Efeito de incidência (IAM): Fresnel, revestimento AR, n(vidro)=1.526, n(AR)=1.290

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

Perdas de cablagem DC

Res. global dos cabos 10 mΩ

Fração perdas 1.5 % em STC

Grupo #1 - Grupo FV

Res. global do grupo 113 mΩ

Fração perdas 1.5 % em STC

Grupo #3 - Sub-grupo #3

Res. global do grupo 188 mΩ

Fração perdas 1.5 % em STC

Grupo #5 - Sub-grupo #5

Res. global do grupo 113 mΩ

Fração perdas 1.5 % em STC

Grupo #2 - Sub-grupo #2

Res. global do grupo 188 mΩ

Fração perdas 1.5 % em STC

Grupo #4 - Sub-grupo #4

Res. global do grupo 89 mΩ

Fração perdas 1.5 % em STC

Grupo #6 - Sub-grupo #6

Res. global do grupo 251 mΩ

Fração perdas 1.5 % em STC



Parâmetros para sombras próximas

Perspetiva do cenário de sombras próximas

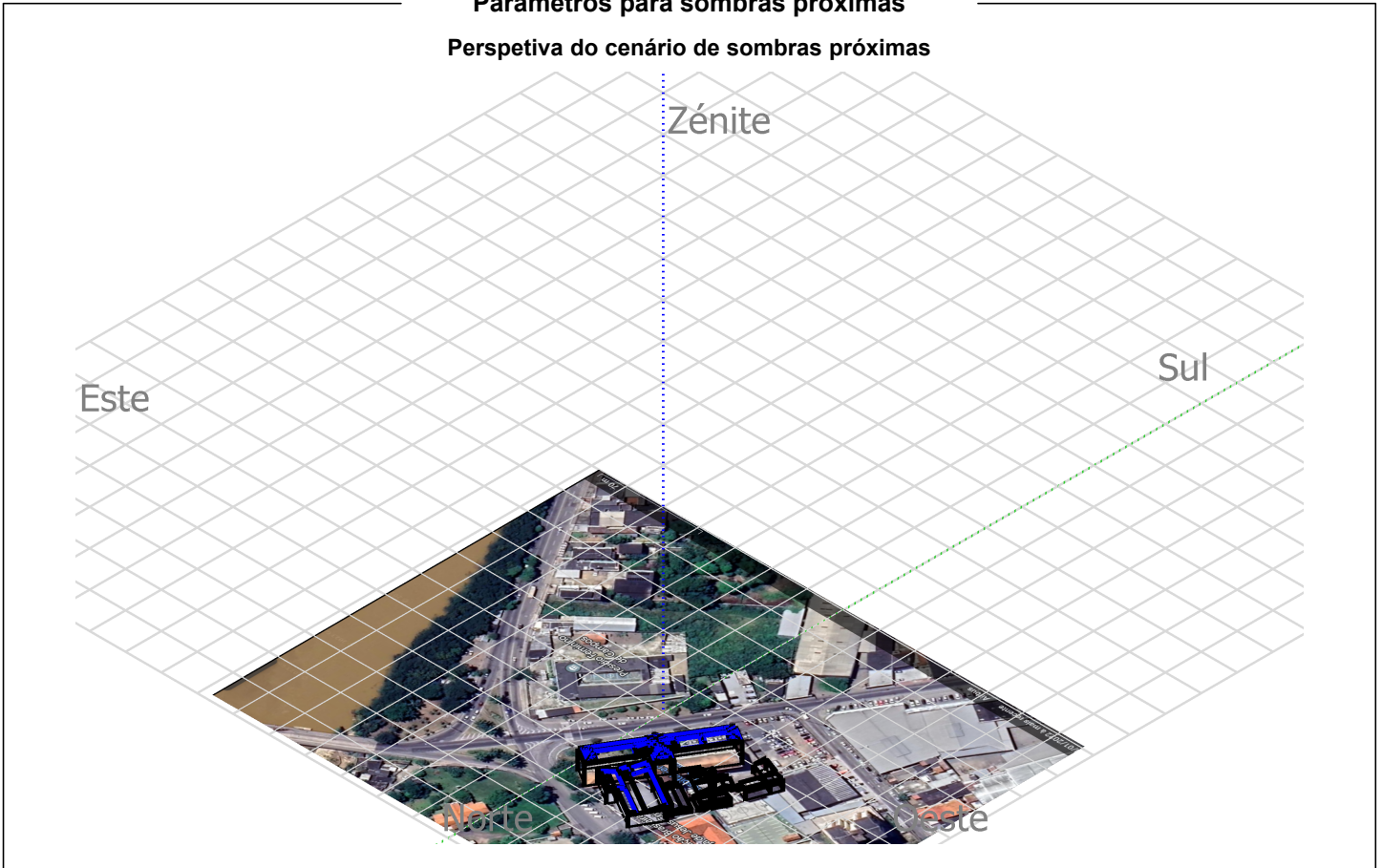
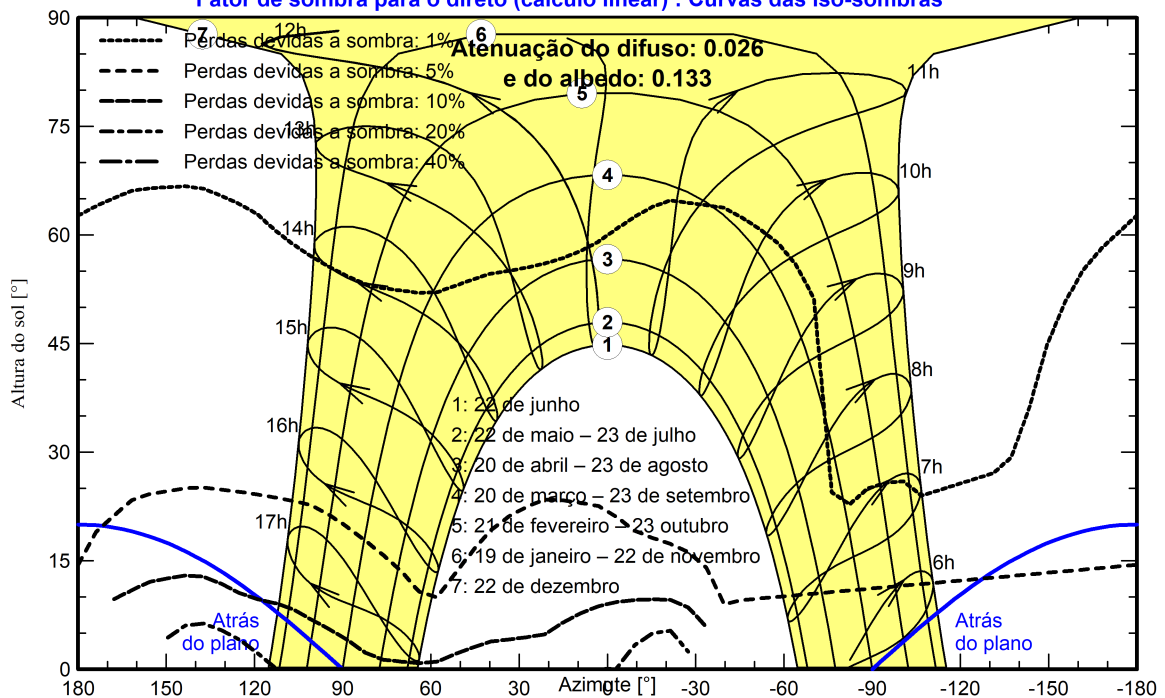


Diagrama das iso-sombras

Ferreira machado

Fator de sombra para o direto (cálculo linear) : Curvas das iso-sombras





PVsyst V7.2.5

VCI, Data da simulação: 23/06/23 04:44
com v7.2.5

Resultados principais

Produção do sistema

Energia produzida 404.9 MWh/ano

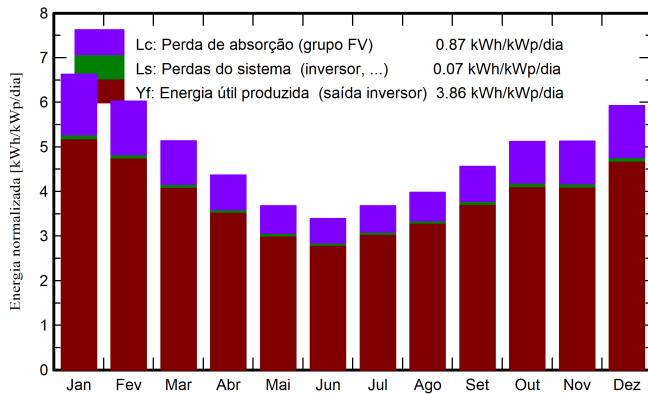
Produção específica

1410 kWh/kWp/ano

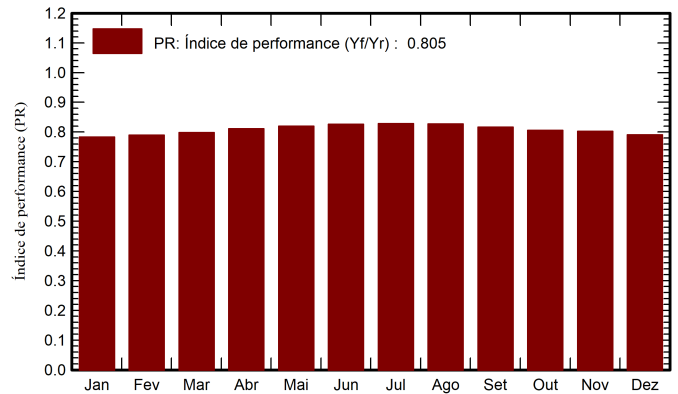
Índice de performance (PR)

80.54 %

Produções normalizadas (por kWp instalado)



Índice de performance (PR)



Balances e resultados principais

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR rácio
Janeiro	211.2	85.24	27.35	205.5	191.3	46.99	46.22	0.783
Fevereiro	172.8	78.36	27.41	168.7	156.9	38.90	38.27	0.790
Março	162.3	73.71	26.22	159.2	147.9	37.11	36.49	0.798
Abril	133.3	61.66	24.36	130.9	121.2	31.04	30.52	0.812
Mai	115.3	50.06	22.41	114.0	104.9	27.31	26.83	0.820
Junho	103.0	44.40	20.77	101.7	93.2	24.56	24.15	0.827
Julho	115.3	48.38	20.31	114.0	104.6	27.58	27.14	0.829
Agosto	125.6	65.38	21.33	123.5	114.0	29.83	29.33	0.827
Setembro	139.7	66.54	22.57	136.8	126.8	32.59	32.06	0.816
Outubro	162.9	84.41	24.62	158.7	147.8	37.35	36.72	0.806
Novembro	158.2	87.12	24.95	153.8	142.7	36.05	35.43	0.802
Dezembro	188.9	93.27	26.74	183.7	170.7	42.43	41.73	0.791
Ano	1788.5	838.53	24.07	1750.5	1622.0	411.74	404.89	0.805

Legendas

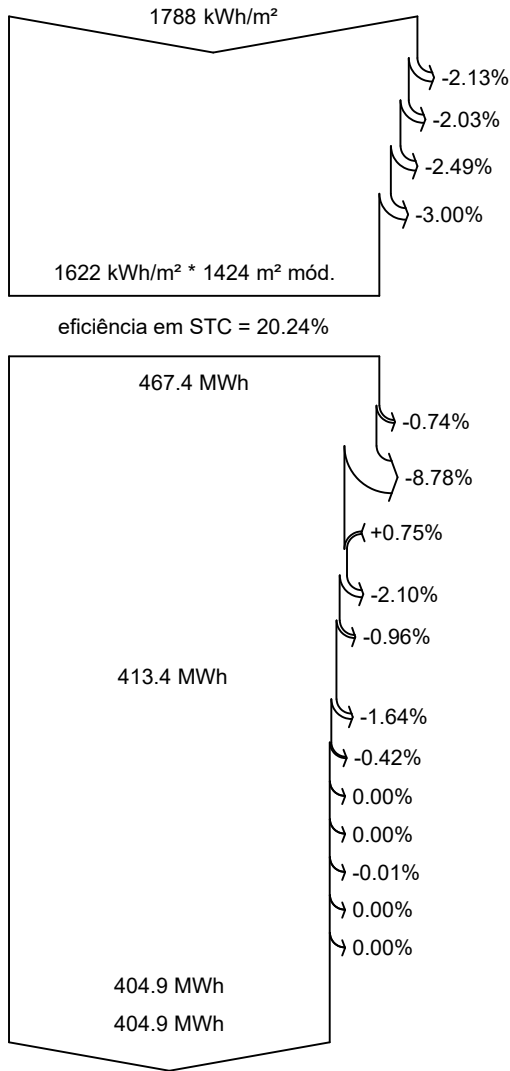
GlobHor	Irradiação horizontal total	EArray	Energia efetiva à saída do grupo
DiffHor	Irradiação difusa horizontal	E_Grid	Energia injetada na rede
T_Amb	Temperatura ambiente	PR	Índice de performance
GlobInc	Incidência global no plano dos sensores		
GlobEff	Global efetivo, corrigido para IAM e sombras		



PVsyst V7.2.5

VCI, Data da simulação: 23/06/23 04:44
com v7.2.5

Diagrama de perdas



Irradiação horizontal total

Incidência global no plano dos sensores

Sombrias próximas: perda de irradiação

Fator de IAM no global

Fator de perdas de sujidade

Irradiância efetiva nos sensores

Conversão FV

Energia nominal do grupo (de acordo com eficiência STC)

Perdas devido ao nível de irradiação

Perdas devido à temperatura do grupo

Perdas qualidade módulos

Perdas devidas a mismatch, módulos e fiadas

Perdas ôhmicas da cablagem

Energia virtual do grupo no MPP

Perdas inversor funcionamento (eficiência)

Perdas inversor, acima potência nominal

perda inversor, limite de corrente

Perdas inversor, acima tensão nominal

Perdas inversor, limite de potência

Perdas inversor, limite de tensão

Consumo noturno

Energia disponível à saída do inversor

Energia injetada na rede

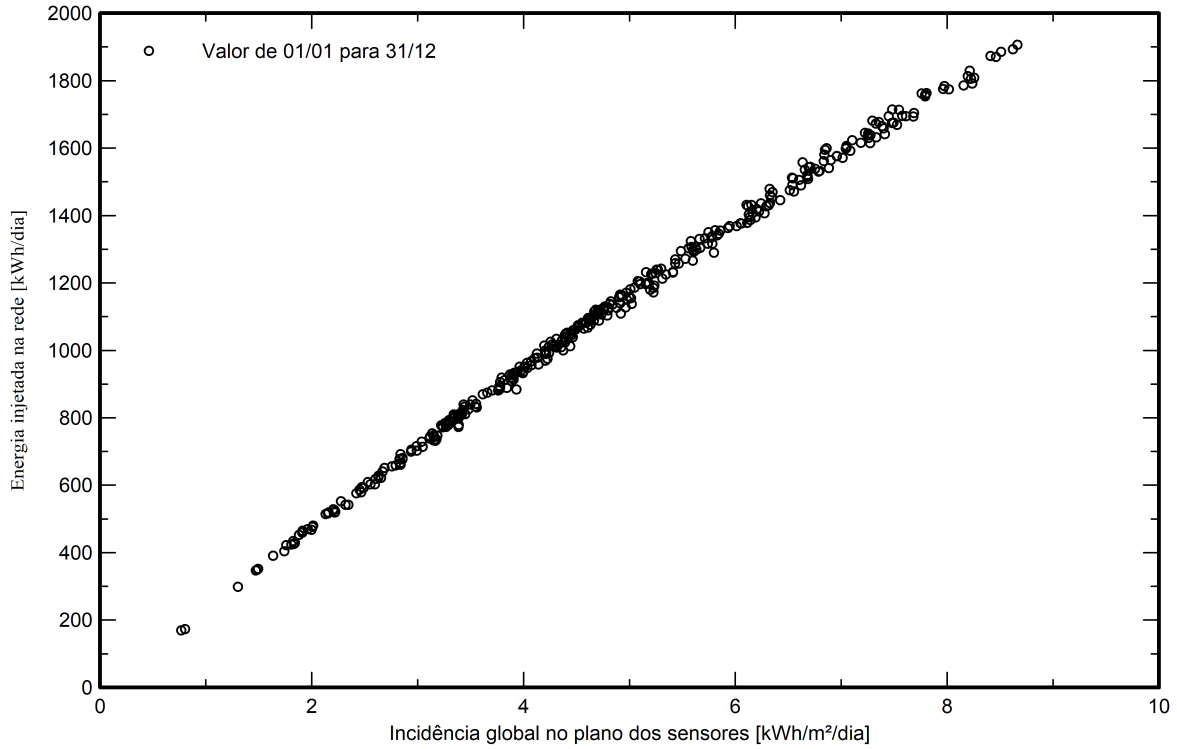


PVsyst V7.2.5

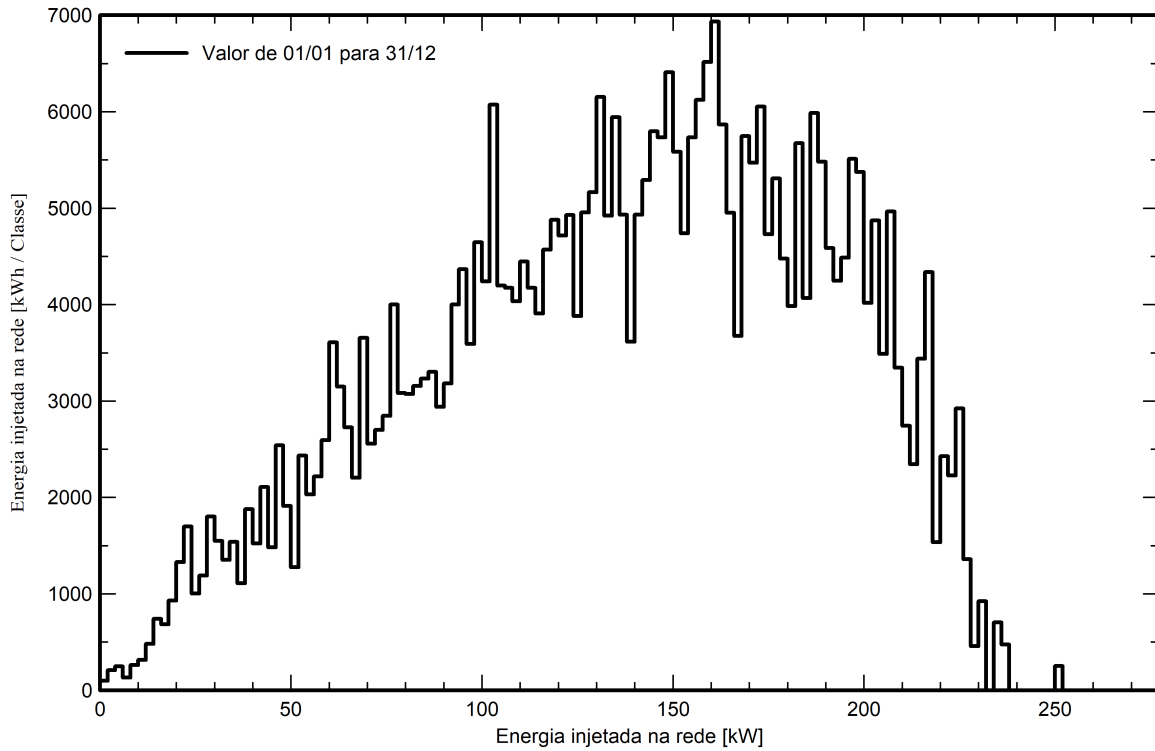
VCI, Data da simulação: 23/06/23 04:44
com v7.2.5

Gráficos especiais

Diagrama de entrada / saída diário



Distribuição da potência à saída do sistema





PVsyst V7.2.5

VCI, Data da simulação: 23/06/23 04:44
com v7.2.5

Avaliação P50 – P90

Dados meteorológicos

Fontes de dados meteorológicos (1996-2005), Sat=100%
Tipo Não definido
Variação de um ano para o outro (Variância) 0.5 %

Desvio especificado

Varição global (meteorologia e sistema)
Variação (Soma quadrática) 1.9 %

Incertezas sobre a simulação e os parâmetros

Parâm./modelo do módulo FV	1.0 %
Incerteza eficiência do inversor	0.5 %
Incertezas sujidade e mismatch	1.0 %
Incerteza acerca da degradação	1.0 %

Probabilidade de produção anual

Variação	7.6 MWh
P50	404.9 MWh
P90	395.2 MWh
P95	392.4 MWh

Distribuição de probabilidade

