

CATEGORIA 3

VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NAS ESTAÇÕES DO METRÔ-SP

AUTORES

INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica por meio de tecnologia solar fotovoltaica tem sido bastante utilizada nesta última década pela Europa, EUA e China e vem crescendo em ritmo acelerado aqui no Brasil, após a publicação de resolução normativa RN482/2012 da ANEEL¹ permitindo que usinas de microgeração e minigeração distribuída de energia sejam conectadas à rede elétrica da distribuidora de energia, com isso ocorrendo o paralelismo permanente permitindo-se através de um medidor bidirecional, realizar o balanço da energia injetada na rede e a consumida. Com essa resolução houve um impulsionamento do mercado de energia

¹ A Agência Nacional de Energia Elétrica é uma autarquia sob regime especial, vinculada ao Ministério de Minas e Energia

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



solar brasileiro e também com alguns incentivos de impostos por parte do governo, fazendo com que os preços dos equipamentos para a construção diminuíssem com o passar dos anos tornando os projetos mais viáveis chegando a Payback² de 3 anos, considerando tudo isso devido ao preço da energia paga no mercado cativo cobrada pelas distribuidoras que estão cada vez maiores.

Segundo dados levantados em junho 2020 pela ABSOLAR³ hoje a matriz energética brasileira conta com uma potência instalada de 172.574MW. Com uma parcela pequena desse valor mais considerável, a energia solar fotovoltaica tem 2.928MW em usinas centralizadas mais 2.8336 MW de minigeração e microgeração distribuída totalizando de 5.764 MW.

O Metrô-SP desde 2005 compra sua energia no mercado livre de energia não dependendo mais da distribuidora de energia local para regular o valor que será pago e sim através de um contrato feito com uma comercializadora de energia cadastrada junto à CCEE⁴, comprando um pacote de energia, de acordo com o mercado, por período de tempo determinado sendo que o valor dessa energia é fixo nesse período somente variando anualmente com a inflação. Com isso houve uma redução significativa no custo da energia para a companhia, que até o presente momento continua nesse modelo de contratação, inclusive com negociações no mercado futuro.

² É um indicador do tempo de retorno de um investimento e um método de tomada de decisões que considera o tempo para obtenção de valores e o montante que deverá ser realizado dos caixas

³ Fundada em 2013, a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica é uma pessoa jurídica de direito privado sem fins lucrativos que congrega empresas de toda cadeia produtiva do setor fotovoltaico com operações no Brasil

⁴ A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica viabiliza as atividades de compra e venda de energia em todo o País. Promove discussões voltadas a evolução do mercado, sempre orientada pelos pilares da isonomia, transparência e confiabilidade

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



A companhia vem buscando reduzir mais seu custo com energia elétrica, então, por que não gerar sua própria energia e, sobretudo, que seja renovável de forma a não trazer prejuízos ao meio ambiente? Uma estação demanda uma quantidade significativa de potência elétrica, sendo que esse valor leva em consideração os sistemas auxiliares (iluminação, escadas rolantes, ventilação, entre outros) e o sistema de tração em corrente contínua que trata-se da alimentação elétrica dos trens, isso corresponde respectivamente a valores percentuais de 30% e 70% (segundo dados de medição), podendo variar um pouco de estação para estação. O Metrô-SP tem uma vasta quantidade de estações com coberturas que existe a possibilidade de instalação de usina fotovoltaica, podendo ser conectada a nossa própria rede distribuição interna, e essa energia gerada ser consumida na estação pelos sistemas auxiliares e em alguns momentos vindo até ser consumida por estações adjacentes, dependendo do potencial de geração do local. Na **Tabela 1** será possível observar as estações com potencial para instalação de usina fotovoltaica, demonstrando a área disponível e tipo de cobertura do local.

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Tabela 1 - Estações das Linhas 1,2 e 3 com áreas das coberturas disponíveis para instalação.

Linha	Estação	Tipo de cobertura	Área Utilizável (m ²)	Cobertura
1	Armênia	calhetão	2104	plataforma
	Tietê	calhetão	2104	plataforma
	Carandiru	calhetão	2104	Estação e acessos
	Santana	calhetão	2104	Estação e acessos
	Parada Inglesa	metálica	2440	plataforma
2	Imigrantes	metálica	1900	plataforma
	Tamanduateí	metálica	1560	plataforma e acessos
3	Barra funda	Espacial	30000	Estação
	Pedro II	Espacial	3625	plataforma
	Brás	calhetão, espacial e laje	12400	Engate e plataforma plataforma e acesso norte
	Bresser-Moooca	calhetão	4146	Estação e acessos
	Belém	calhetão	3877	Estação e acessos
	Tatuapé	Espacial	14780	Estação e acessos
	Carrão	Espacial	5540	Estação e acessos
	Penha	Espacial	4900	Estação e acesso
	Vila Matilde	Espacial	5540	Estação e acessos
	Guilhermina- Esperança	Espacial	5300	Estação e acessos
	Patriarca	Espacial	6000	Estação e acesso
	Artur Alvim	Espacial	4900	Estação e acesso
	Itaquera	Espacial	11500	Plataforma e acessos

Somando-se as áreas disponíveis das estações, tem-se um total de 126.824 m². Esse estudo de levantamento das áreas e do potencial de geração fotovoltaica já foi realizado anteriormente por outra gerência da empresa, fazendo uma estimativa de geração pela área. O foco desse trabalho é através de software de simulação de usinas de energia solar fotovoltaica, simular a capacidade de geração das coberturas do tipo calhetão, com isso calcular o investimento total desses 7 projetos com base de preço de mercado (R\$/kWp) e, de

posse dessas informações, realizar a análise de viabilidade econômica com métodos de cálculo como VPL, Payback e TIR em cenários distintos, para demonstrar a viabilidade ou não da implantação deste modelo. A telha tipo W de concreto protendido (calhetão) foi estudada mais especificamente para desenvolvimento de uma especificação técnica para contratação de usina fotovoltaica na cobertura do Engate5 da estação Brás da Linha 3 – Vermelha, visto que o peso adicional dos módulos fotovoltaicos é um ponto importantíssimo numa implantação de sistema fotovoltaico. Portanto, em conjunto com a Engenharia civil do Metrô, foi possível identificar todos os aspectos relevantes para esse tipo telha e da estrutura em si do local, de maneira que não seja comprometida. Diante disso, consultamos soluções de diferentes fornecedores de estruturas de módulos, e na **Figura 1** está ilustrada a solução que mais se adequou para realizarmos o projeto em cobertura de calhetão.



Figura 1 - Estrutura desenvolvida para instalação de módulos fotovoltaicos em telha tipo W

⁵ Cobertura da Edificação que interliga a estação Brás – Metrô com a estação Brás CPTM

DIAGNÓSTICO

Como mencionado anteriormente o trabalho consiste na análise de viabilidade econômica de algumas estações específicas das Linhas 1, 2 e 3 por conta do tipo de estrutura da cobertura, pois em estações com cobertura espacial, cuja característica autoportante reduz a quantidade de apoios e fundações, trabalhando sempre no limite de peso, haveria a necessidade de reforço estrutural ou até mesmo a substituição completa da cobertura, tornando o projeto ainda mais caro.

Adiante será demonstrado todos os pontos importantes para realização dos cálculos e assim chegando o mais próximo do real.

As estações que foram utilizadas nesse trabalho para as simulações e cálculos são:

- Linha 1: Armênia, Portuguesa-Tietê, Carandiru e Santana
- Linha 3: Belém, Bresser-Mooça e Brás

Através do software de energia solar Helioscope, bastante utilizado para simulações em sistemas fotovoltaicos em edificações, simulou-se as estações mencionadas acima, considerando sombreamentos, e no caso das estações da Linha 1 foi feita a simulação comum para todas as estações por serem iguais, exceto a estação Armênia que tem a particularidade de ter uma diferença em relação ao norte geográfico e, também, por ter a cobertura do elevado em curva. Para a Linha 3 já foi realizado cada situação em particular.

A partir dos resultados simulados, foi possível obter a quantidade de módulos, potência gerada em kWp e energia gerada anualmente. Na **Tabela 2** estão discriminados os valores. Na

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



realização das simulações foi adotado um módulo fotovoltaico de 385 Wp e a inclinação deles de 21°, ângulo que propicia um maior aproveitamento da incidência da irradiação solar considerando a localização geográfica em estudo.

Tabela 2 - Valores de potência e energia gerada, quantidade de módulos nas estações de cobertura do tipo calhetão.

Linha	Estação	Potência (kWp)	Energia Gerada (MWh/ano)	Quantidade de módulos	Energia consumida (MWh/ano)	Relação - Gerada e consumida (%)
1	Armênia	144,8	173,6	376	1206	14,4
	Tietê	181	229	470	1561	14,7
	Carandiru	181	229	470	617	37,1
	Santana	181	229	470	1243	18,4
	Brás	154	174,18	400	2411	7,2
3	Bresser-Mooça	400,8	497,3	1041	1252	39,7
	Belém	381,9	474,1	992	1906	24,9

Lembrando que, para as estações demonstradas acima, foi considerada somente a área das coberturas referente as telhas tipo W de concreto protendido (calhetão). Na **Tabela 2** foi analisado também quanto dessa energia gerada por cada usina foi capaz de suprir o consumo dos sistemas auxiliares da estação, por exemplo, verificando o pior caso, na estação Armênia será suprido somente 14,4% do consumo, porém já na situação da estação Bresser-Mooça essa usina na cobertura chegará a quase 40%, que seria um valor considerável.

Dando continuidade, de acordo com os dados dos contratos de energia fechados com a comercializadora, obteve-se o valor da energia pago pela companhia para os próximos 3 anos, mais uma parcela do valor de demanda (contratada e consumo) pago à distribuidora de energia, pois o perfil de geração de uma usina fotovoltaica acontece no período fora de ponta.

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Portanto, não se considera nos cálculos a demanda na ponta (17:30 às 20:30). Todas essas informações foram primordiais para se calcular o quanto de economia se terá com a implantação dessas 7 usinas fotovoltaicas.

O investimento estimado dessas usinas de R\$5.846.400,00, está um pouco acima do mercado pelo fato da particularidade da telha W, pois o fornecedor deverá desenvolver um projeto específico para o Metrô.

De posse desses dados, foi calculado o fluxo de caixa do projeto e assim obtido as informações de Taxa Interna de Retorno (TIR), Payback simples e descontado, e o Valor Presente Líquido (VPL) para 25 anos que seria o período de vida útil dos módulos fotovoltaicos, não se esquecendo que foi descontado do fluxo de caixa o custo de operação e manutenção da usina e a perda de eficiência com o passar dos anos. Nessa análise abaixo, após o ano de 2023 foi considerado o preço da energia o mesmo ao do anterior e mantendo-se igual para os anos seguintes até o término do período, somente sendo corrigido pela inflação (IPCA). Na **Tabela 3** no décimo ano do fluxo de caixa, foi descontado o custo de substituição dos inversores da usina fotovoltaica, que tem uma vida útil não tão longa como os módulos fotovoltaicos.

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Tabela 3 - Análise do fluxo de caixa do projeto

Ano	Fluxo	Fluxo acumulado	Valor presente (VP)	VP (Acumulado)
0	-R\$ 5.846.400,00	-R\$ 5.846.400,00	-R\$ 5.846.400,00	-R\$ 5.846.400,00
1	R\$ 633.935,85	-R\$ 5.212.464,15	R\$ 603.748,43	-R\$ 5.242.651,57
2	R\$ 599.487,82	-R\$ 4.612.976,34	R\$ 543.753,12	-R\$ 4.698.898,45
3	R\$ 588.194,02	-R\$ 4.024.782,31	R\$ 508.104,11	-R\$ 4.190.794,34
4	R\$ 603.727,82	-R\$ 3.421.054,49	R\$ 496.688,37	-R\$ 3.694.105,97
5	R\$ 616.044,73	-R\$ 2.805.009,77	R\$ 482.687,16	-R\$ 3.211.418,81
6	R\$ 630.465,50	-R\$ 2.174.544,27	R\$ 470.463,06	-R\$ 2.740.955,74
7	R\$ 645.226,95	-R\$ 1.529.317,32	R\$ 458.550,75	-R\$ 2.282.405,00
8	R\$ 662.286,06	-R\$ 867.031,26	R\$ 448.261,27	-R\$ 1.834.143,73
9	R\$ 675.804,19	-R\$ 191.227,07	R\$ 435.629,41	-R\$ 1.398.514,32
10	-R\$ 78.363,39	-R\$ 269.590,46	-R\$ 48.108,33	-R\$ 1.446.622,64
11	R\$ 707.842,95	R\$ 438.252,49	R\$ 413.861,11	-R\$ 1.032.761,53
12	R\$ 726.577,19	R\$ 1.164.829,68	R\$ 404.585,37	-R\$ 628.176,16
13	R\$ 741.412,81	R\$ 1.906.242,48	R\$ 393.187,04	-R\$ 234.989,12
14	R\$ 758.794,53	R\$ 2.665.037,02	R\$ 383.242,80	R\$ 148.253,68
15	R\$ 776.586,61	R\$ 3.441.623,63	R\$ 373.551,44	R\$ 521.805,12
16	R\$ 797.160,31	R\$ 4.238.783,95	R\$ 365.188,32	R\$ 886.993,44
17	R\$ 813.440,61	R\$ 5.052.224,56	R\$ 354.901,44	R\$ 1.241.894,89
18	R\$ 832.522,47	R\$ 5.884.747,03	R\$ 345.930,28	R\$ 1.587.825,17
19	R\$ 852.054,58	R\$ 6.736.801,61	R\$ 337.186,93	R\$ 1.925.012,10
20	R\$ 874.647,92	R\$ 7.611.449,53	R\$ 329.645,60	R\$ 2.254.657,70
21	R\$ 892.512,01	R\$ 8.503.961,54	R\$ 320.360,37	R\$ 2.575.018,08
22	R\$ 913.459,17	R\$ 9.417.420,72	R\$ 312.265,90	R\$ 2.887.283,98
23	R\$ 934.900,27	R\$ 10.352.320,99	R\$ 304.376,70	R\$ 3.191.660,68
24	R\$ 959.710,77	R\$ 11.312.031,75	R\$ 297.575,51	R\$ 3.489.236,19
25	R\$ 979.310,73	R\$ 12.291.342,49	R\$ 289.193,17	R\$ 3.778.429,37

Com o fluxo de caixa apresentado **Tabela 3**, obteve-se um Valor Presente Líquido de R\$3.778.429,23, a taxa mínima de atratividade utilizada foi de 5% ao ano. A taxa interna de retorno (TIR) obtida nesse projeto é de 10,15%.

Na **Figura 2** ilustrada abaixo é possível verificar o Payback simples e descontado.

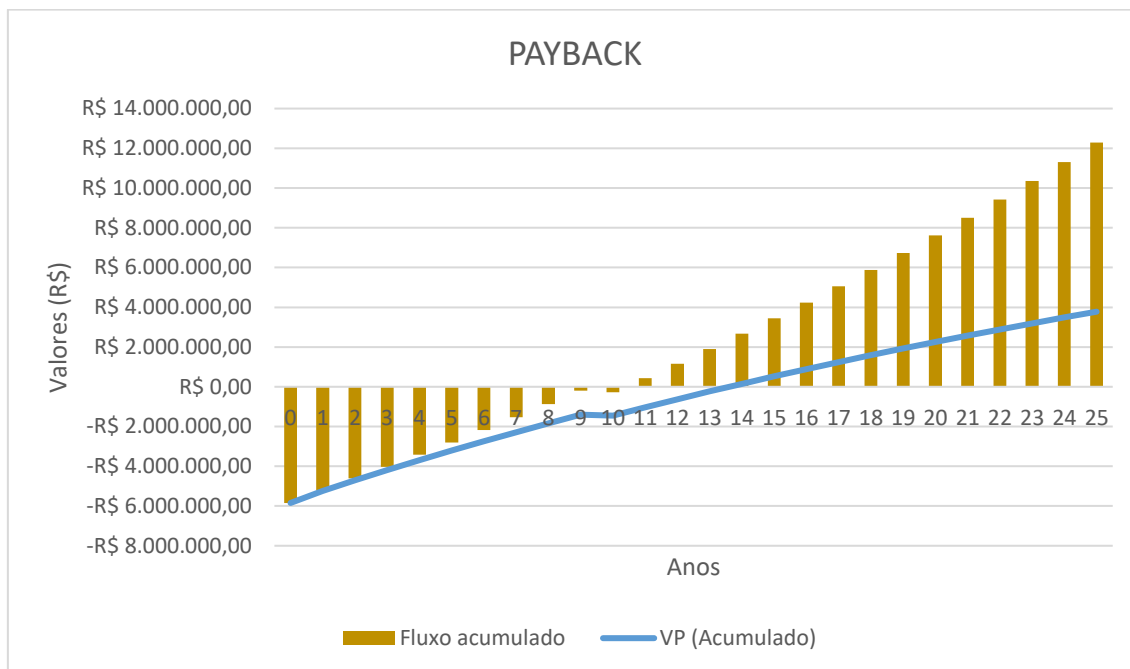


Figura 2 - Demonstração de Payback simples e descontado do projeto

Pode-se observar pela **Figura 2** que o Payback simples do projeto encontra-se entre dez e onze anos (calculado 10,4) e para o Payback descontado que seria a linha azul está entre treze e quatorze anos (calculado 13,6).

Como mencionado anteriormente, o propósito do trabalho consiste em demonstrar alguns cenários diferentes, portanto, foram realizadas várias simulações que serão demonstradas nas tabelas a seguir, avaliando a sensibilidade do projeto com a variação do custo do investimento (CAPEX), e do preço da energia. Para 2024, ano no qual ainda não há contrato de energia celebrado, utilizou-se como base o mesmo valor do ano de 2023. A partir desses dados, realizou-se uma análise de sensibilidade, simulando-se para os três métodos de análise de viabilidade econômica indicados, TIR, VPL e Payback descontado.

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Tabela 4 - Análise de sensibilidade da Taxa Interna de Retorno

Variação		-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%
	CAPEX	Preço da energia (TE)								
		134,40	142,80	151,20	159,60	168,00	176,40	184,80	193,20	201,60
-										
10%	3249	10,14%	10,47%	10,79%	11,11%	11,42%	11,72%	12,01%	12,30%	12,58%
-5%	3420	9,52%	9,84%	10,16%	10,47%	10,77%	11,07%	11,35%	11,64%	11,92%
0%	3600	8,92%	9,24%	9,55%	9,85%	10,15%	10,44%	10,72%	11,00%	11,27%
5%	3780	8,37%	8,68%	8,99%	9,28%	9,57%	9,86%	10,14%	10,41%	10,68%
10%	3969	7,84%	8,14%	8,44%	8,73%	9,02%	9,30%	9,57%	9,84%	10,10%

Tabela 5 - Análise de sensibilidade do Payback descontado, em anos

Variação		-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%
	CAPEX	Preço da energia (TE)								
		134,40	142,80	151,20	159,60	168,00	176,40	184,80	193,20	201,60
-10%	3249	13,6	13,2	12,8	12,5	12,1	11,8	11,6	11,3	11,0
-5%	3420	14,5	14,0	13,6	13,2	12,9	12,5	12,2	11,9	11,7
0%	3600	15,4	14,9	14,4	14,0	13,6	13,3	12,9	12,6	12,3
5%	3780	16,3	15,8	15,3	14,8	14,4	14,0	13,6	13,3	13,0
10%	3969	17,3	16,7	16,2	15,7	15,2	14,7	14,3	14,0	13,7

Tabela 6 - Análise de sensibilidade do valor presente líquido (25 anos), em R\$/mil

Variação		-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%
	CAPEX	Preço da energia (TE)								
		134,40	142,80	151,20	159,60	168,00	176,40	184,80	193,20	201,60
-10%	3249	R\$ 3.299	R\$ 3.561	R\$ 3.823	R\$ 4.086	R\$ 4.348	R\$ 4.610	R\$ 4.873	R\$ 5.135	R\$ 5.398
-5%	3420	R\$ 3.021	R\$ 3.283	R\$ 3.545	R\$ 3.808	R\$ 4.070	R\$ 4.333	R\$ 4.595	R\$ 4.857	R\$ 5.120
0%	3600	R\$ 2.729	R\$ 2.991	R\$ 3.253	R\$ 3.516	R\$ 3.778	R\$ 4.040	R\$ 4.303	R\$ 4.566	R\$ 4.828
5%	3780	R\$ 2.436	R\$ 2.698	R\$ 2.961	R\$ 3.224	R\$ 3.486	R\$ 3.748	R\$ 4.010	R\$ 4.273	R\$ 4.535
10%	3969	R\$ 2.130	R\$ 2.391	R\$ 2.654	R\$ 2.916	R\$ 3.179	R\$ 3.442	R\$ 3.704	R\$ 3.966	R\$ 4.229

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo será abordado de que maneira que se chegou nos dados apresentados no tópico anterior.

O investimento do projeto (CAPEX) foi levantado a partir de referências de mercado de preço/kWp e, em seguida, gerou-se um gráfico para apresentar esses dados de quanto foi o custo de cada parte do projeto.

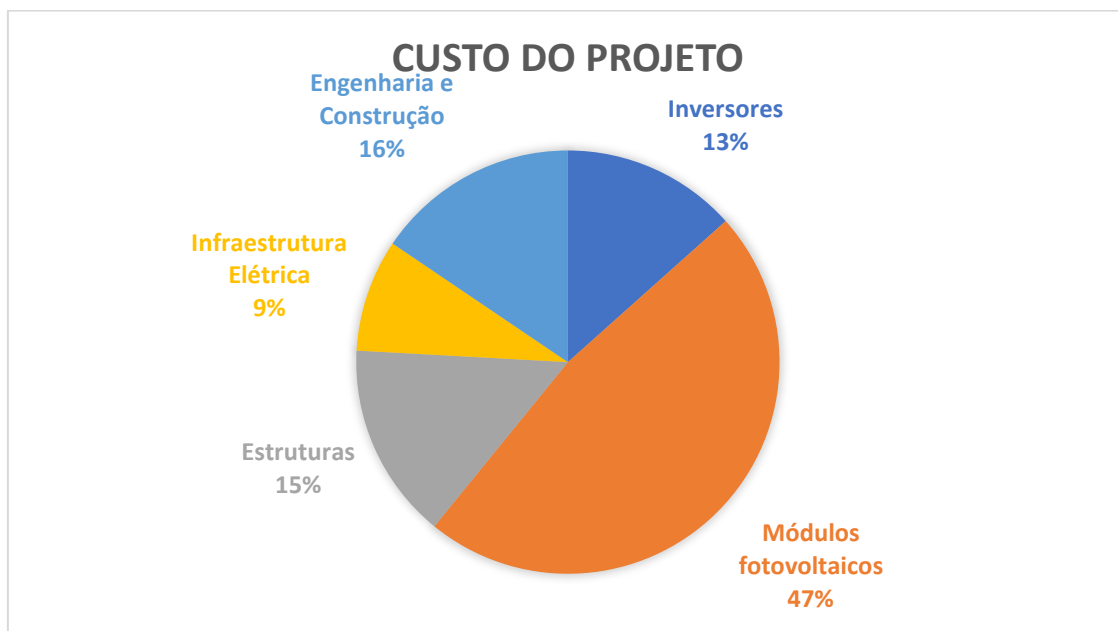


Figura 3 - Gráfico de custo do projeto

Através do gráfico é possível concluir que no modelo estudado, devido ao alto custo das estruturas de fixação, conseqüentemente eleva-se o custo de instalação, mas mantém-se o padrão do mercado, sendo o custo dos módulos o maior em um projeto de um sistema fotovoltaico. Portanto, usando o R\$/kWp, obteve-se um valor de investimento abaixo ilustrado.

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Investimento = preço/kWp x potência de geração total

Investimento = R\$3600,00 x 1624 kWp

Investimento = R\$5.846.400,00

Outro ponto importante foi o cálculo do custo da energia onde foi levado em conta a projeção anual de acordo com o boletim Focus do BACEN.

Tabela 7 - Valores de inflação para estimados até 2023

	2020	2021	2022	2023
IPCA (%)	1,6	3,0	3,5	3,5

Sendo assim, foi possível efetuar o cálculo da tarifa de energia considerando a correção da inflação projetada e esse acumulativo com o passar dos anos.

Tarifa da energia = (TE + parcela da TUSD fora ponta) + inflação

Dando continuidade, calculou-se o fator de capacidade da somatória dessas sete usinas fotovoltaicas ilustrado na **Tabela 2**.

$$FC = \frac{\text{Energia gerada}}{\text{potência} * \text{tempo}}$$

Sendo,

Energia gerada, em MWh

Potência gerada, em MWp

Tempo, em horas (no ano) – 8760 horas

Assim, pôde-se realizar os cálculos da energia total gerada levando em consideração a perda de eficiência da usina no decorrer dos anos, sendo no primeiro ano 2,5% e nos demais 0,85%. Abaixo é possível verificar as premissas do projeto utilizadas como base de cálculos.

Tabela 8 - Dados bases para utilizados para cálculo

Potência AC	1,320	MW
Fator de capacidade AC	17,3%	MWm/MWAC
Fator de carregamento	1,23	MWp/MW
Potência DC	1,624	MWp

Portanto, para cálculo da geração de energia anual em MWh considerando as premissas e o fator de decaimento da usina, usou-se a seguinte equação.

$$Geração\ corrigida = \frac{FD * NH * Pac * FC}{1000}$$

Onde:

FD = fator de decaimento;

NH = número de horas no ano;

Pac = Potência de geração, saída do inversor;

FC = fator de capacidade da usina;

Na **Tabela 9** segue um exemplo do cálculo realizado.

Tabela 9 - Modelo utilizado para cálculo da geração de energia anual

Ano	Cálculo de geração			
	Número de horas	Decaimento	Decaimento acumulado	Geração (MWh)
jun/20			1,00	
jun/21	8760	2,50%	0,98	1950
jun/22	8760	0,85%	0,97	1934
jun/23	8760	0,85%	0,96	1917
jun/24	8784	0,85%	0,95	1906

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Complementando, será demonstrado o cálculo da TUSD Demanda, tarifa paga à distribuidora de energia por conta da utilização da rede. Na equação abaixo foi convertido o valor do custo de demanda em kW para kWh.

$$TUSD D \frac{R\$}{Kwh} = \frac{TUSD D \frac{R\$}{kW} * 12 * 1000}{8760 * FC}$$

Sendo,

TUSD D R\$/kW = valor expresso na conta ou no site da ANEEL;

FC = fator de capacidade da usina.

Esse valor de demanda encontrado foi também afetado pelo decaimento de geração da usina anual, portanto havendo um decréscimo no R\$/kWh, onde será pago essa perda à distribuidora, e conseqüentemente reduzindo uma parcela pequena do fluxo de caixa anual. Esse custo de TUSD Demanda foi somado ao de TUSD Consumo e acrescido dos tributos de ICMS, PIS, COFINS chegando à tarifa cheia (referente a distribuidora). Esse resultado somado com a TE (tarifa de energia) obteve-se o valor da tarifa total, conforme mencionado anteriormente, que foi a base do cálculo da economia anual do projeto, sempre levando em conta a inflação.

Em função disso, com os valores de preço de energia e a geração de energia anuais corrigidos, possibilitou-se o cálculo do fluxo de caixa anual do projeto, conforme números ilustrados na

Tabela 3 do capítulo anterior e, também, o fluxo de caixa acumulado que é dado importante para se chegar ao Payback simples do projeto.

Para a taxa mínima de atratividade foi utilizado novamente o relatório de mercado fornecido pelo BACEN e realizado uma média das taxas SELIC projetada até 2023 por esse boletim. Assim, é possível trazer o fluxo de caixa para o Valor Presente conforme expressão abaixo, bem como o valor presente acumulado para que, com esses dados, possa ser encontrado o Payback descontado.

$$VP = \frac{VF}{(1+i)^n}$$

Com os fluxos de caixa dos 25 anos que representa o ciclo de vida dos painéis fotovoltaicos e a taxa de desconto estimada ou taxa mínima de atratividade, foi possível encontrar as seguintes incógnitas do trabalho que são TIR, VPL.

Segue expressão abaixo:

$$VPL = \sum_{n=0}^N \frac{FCn}{(1+TMA)^n}$$

Onde:

FC: fluxo de caixa;

TMA: taxa mínima de atratividade

n: número do período que está sendo analisado

Para se chegar a taxa interna de retorno basta igualar o $VPL=0$, e a TMA passar a ser a minha TIR, ou seja, qual é taxa de retorno que faz zerar meu valor presente líquido.

CONCLUSÕES

Em virtude de tudo que foi apresentado nesse artigo conclui-se que, analisando os 3 métodos percorridos nesse trabalho, observou-se que mesmo com a variação do preço da energia e do custo do investimento a taxa interna de retorno ficou maior que a taxa mínima de atratividade em todos os casos simulados da tabela de sensibilidade. Entretanto, como atualmente o custo da energia está relativamente baixo devido à compra em ambiente de contratação livre (ACL) e, também, ao momento econômico, obteve-se prazos de Payback relativamente longos, sendo o menor deles em torno de 11 anos, considerando uma redução de 10% no custo do projeto e 20% de aumento no preço da energia. Já referente ao Valor Presente Líquido, o fato de analisarmos um longo período fez com que a variação fosse de R\$2.130.000,00 à R\$5.398.000,00, mas permanecendo um valor positivo que é o importante. O projeto da usina fotovoltaica, do ponto de vista de um retorno rápido do investimento não seria viável, pois conforme foi demonstrado tem-se Payback de longo prazo que acaba não tornando o investimento tão atrativo. Porém, do ponto de vista de um investimento a longo prazo, com uma Taxa Interna de Retorno considerável, tornaria o projeto viável.

A Companhia em busca da atualização ou modernização das linhas existentes com a concepção de adotar soluções que melhorem a eficiência energética dentro das suas instalações, também é um ponto de não podemos deixar de lado no processo de implantação desses projetos de geração solar fotovoltaica e vindo de encontro com a ABNT NBR ISO 50.001 que fala sobre o desempenho energético dentro de uma organização.

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Nesse trabalho não foi mencionado a questão do potencial de geração solar fotovoltaica nos pátios de manutenção do Metrô que dispõem de uma grande área em coberturas dos galpões, para montagem de usinas ultrapassando os 3 MWp (Pátio Itaquera) de potência instalada, isso trará não somente benefícios de redução de custos com energia elétrica, mas o simples fato de ser uma geração através de uma fonte renovável que não polui o nosso ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MANKIW, N. Gregory. **Introdução a Economia**. 6ª. ed. Norte-Americana: Cengage Learning, 2014.

MOREIRA, José Roberto (org.). **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. 1ª. ed. São Paulo: Gen LTC, 2017.

ZILLES, Roberto; MACÊDO, Wilson Negrão; GALHARDO, Marcos André Barros; OLIVEIRA, Sergio Henrique Ferreira. **Sistemas Fotovoltaicos Conectado à Rede Elétrica**. 1ª. ed. [S. l.]: Oficina de textos, 2012.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015.

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Infográfico ABSOLAR. São Paulo. Junho de 2020.

RELATÓRIO de Mercado. [S. l.], 19 jun. 2020. Disponível em:

<https://www.bcb.gov.br/publicacoes/focus/19062020>. Acesso em: 22 jun. 2020