

Avaliação da Viabilidade Econômica do Sistema Fotovoltaico de Micro Geração de Energia Conectada à Rede (*Grid Tied*) para Diferentes Classes Sociais



Eduardo Henrique Feier¹; Roberto Kazuo Massoni²; Jefferson dos Santos Amaral³;
Faculdade Educacional de Araucária

RESUMO

A energia solar é uma forma de geração limpa e inesgotável, o que contribui para a eficiência energética da matriz de geração. A instalação do sistema de micro geração distribuída de energia fotovoltaica conectada à rede é regulamentada pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) para todo o país. O trabalho consiste em avaliar a viabilidade de implantação de um sistema de micro geração de energia solar fotovoltaica ligada à rede (grid tied) em Curitiba e região metropolitana, no estado do Paraná-Brasil, analisando a viabilidade em consumidores das classes sociais A, B e C, para projetos de residências já construídas onde não foram planejadas no projeto inicial a instalação do sistema. Foi utilizada a metodologia EPC (Cadeia de Processos Dirigidas por Eventos), para organização das atividades e descrever todas as etapas de verificações, cálculos e relatórios. Por fim, gerou-se um laudo de retorno financeiro. Os resultados indicam que este tipo de sistema é mais viável para sistemas maiores (associados as classes mais abastadas).

Palavras chave: micro geração distribuída, sistema fotovoltaico, modelagem de processos, PVWATTS, energia limpa.

ABSTRACT

Solar energy is a form of clean and inexhaustible generation, which contributes to the energy efficiency of the generation matrix. The installation of system grid tied photovoltaic systems is regulated by ANEEL (National Electric Energy Agency) for the whole country. This paper aims to check the feasibility of implementing a grid tied photovoltaic system in Curitiba and metropolitan area, located in the state of Paraná, Brazil, analyzing the feasibility for consumers of A B and C social classes, using residential projects already built which PV systems were not planned in the initial design to system installation. The EPC methodology (Driven Process Chain of Events) was used to organize the activities and describe all the steps checks, calculations and reports. Finally, a financial payback report was created. The results indicate that this type of system is more feasible for larger systems (associated with the upper classes).

Key words: grid-tied generation, PV system, process modeling, PVWATTS, clean energy.

1. INTRODUÇÃO

Segundo GOLDEMBERG e LUCON (2006), o Brasil possui uma forte base hidráulica em sua matriz elétrica. Contudo, o estímulo a outras fontes de energias renováveis é ainda bastante incipiente comparado à média mundial, apesar dos esforços feitos pelo governo federal por meio do Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Eletricidade (PROINFA).

Segundo a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) (2015), quase todas as fontes de energia – hidráulica, biomassa, eólica, combustível fóssil e energia dos oceanos – são formas indiretas de energia solar. Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos em ambientes para potência mecânica ou geração de energia elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico. O aproveitamento da iluminação natural e do calor para aquecimento de ambientes, denominado aquecimento solar passivo, decorre da penetração ou absorção da radiação solar nas edificações, reduzindo-se, com isso, as necessidades de iluminação e aquecimento. Assim, um melhor aproveitamento da radiação solar pode ser feito com o auxílio de técnicas mais sofisticadas de arquitetura e construção.

Neste contexto, a energia fotovoltaica figura como uma forte alternativa devido à queda gradativa dos custos da tecnologia, à simples manutenção e aos benefícios logísticos, uma vez que a geração de energia elétrica pode ocorrer no mesmo local de instalação e consumo.

Quando o sistema fotovoltaico está gerando mais do que necessita, toda a energia excedente automaticamente sai pela rede. Nesse momento, o medidor bidirecional registra o crédito energético aplicado a sua conta, podendo ser consumido em até 60 meses.

Nesse sentido, a ANEEL (2012), descreve sobre:

No ano de 2002, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) iniciou estudos para estabelecimento de regulamentação das especificações técnicas necessárias à instalação dos SIGFIs (Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes), destinados ao fornecimento de energia elétrica aos consumidores isolados da rede elétrica de distribuição, que resultou na publicação da Resolução Normativa nº 83/2004, posteriormente revogada e substituída pela solução Normativa nº 493/2012, a qual regulamenta também fornecimento de energia por meio dos MIGDIs (Micros sistemas Isolados de Geração e Distribuição de Energia Elétrica).

Existe hoje no Brasil a regulamentação por parte da ANEEL que permite o pleno funcionamento do sistema fotovoltaico conectado à rede assim como o sistema de

compensação energética, habilitando o consumidor de energia elétrica das distribuidoras a produzirem sua própria energia e pagar apenas uma taxa mínima em sua conta de luz referente à acessibilidade a rede de distribuição elétrica.

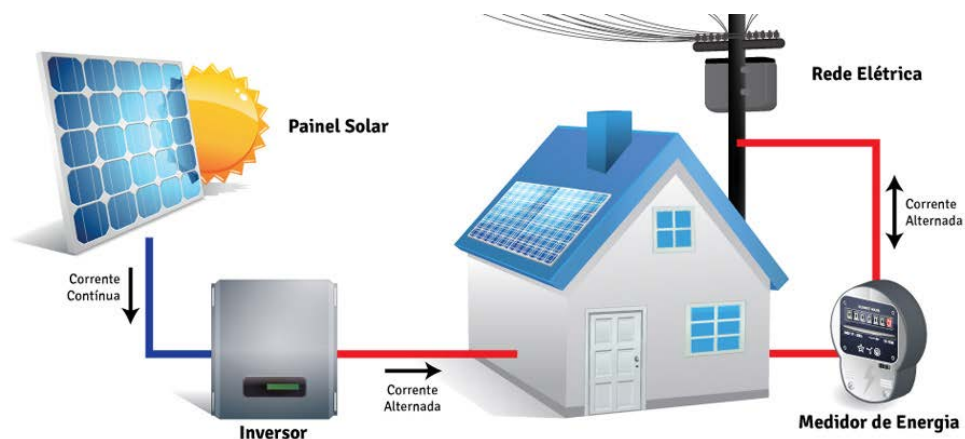


FIGURA 1 - SISTEMA DETALHADO CONECTADO À REDE
FONTE: MANSUR SOLAR (2012)

A figura 1 mostra um sistema de geração integrado à rede elétrica, e o seu ciclo de funcionamento pode ser resumido abaixo:

- 1 - Captação da luz solar através dos painéis fotovoltaicos conforme a quantidade de produção, quanto maior for a captação nos painéis melhor eficiência do sistema.
- 2 - O inversor converte corrente contínua em alternada direcionando o uso da energia para o consumo da residência.
- 3 - O medidor bidirecional recebe e devolve a energia excedente para a rede elétrica e assim que possível retorna ao usuário na forma de créditos conforme o rendimento do sistema que pode ser utilizado durante a noite ou quando não há sol.

No Brasil, a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica são serviços públicos regulados por uma autarquia federal, a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

Conforme a ANEEL, quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. De acordo com as novas regras, o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado “autoconsumo remoto”.

Criou ainda a figura da “geração compartilhada”, possibilitando que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem um micro ou mini geração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados.

A própria definição do que seriam “geração compartilhada” é muito discutida e isso se mostra claro ao avaliar as possíveis pretensões dos clientes para efetivamente instalar o sistema projetado no estudo e demonstrar qual o sistema mais rentável para o negócio.

Segundo a Copel (Companhia Paranaense de Energia) (2015), o inversor é um componente do sistema de geração que converte em corrente alternada (compatível com a rede elétrica) a energia produzida em corrente contínua pelas unidades geradoras, sendo geralmente utilizado em sistemas de geração cuja fonte é solar ou eólica. Nem todos os sistemas de geração necessitam de inversor. O profissional responsável pelo projeto e instalação da central geradora identificará quando for indicado seu uso. Internamente, o inversor deve conter funções de proteção e seu funcionamento deve atender as normas Brasileiras vigentes e, por isso, somente será aceita a utilização de modelos com certificados e/ou declarações verificadas pela Copel ou modelos etiquetados pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), conforme o caso.

2. DESENVOLVIMENTO

O objetivo do presente trabalho é fornecer uma comparação dos projetos de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (*grid tied*) baseados em diferentes residências de proprietários de imóveis de classes sociais A, B e C em Curitiba e região metropolitana, em relação a aspectos relativos aos volumes de energia gerados, aos custos de projeto e de instalação, aos tempos de retorno de investimento (*payback*) e às pretensões dos proprietários dos imóveis em efetivamente implantarem o projeto.

Demonstrar a partir de estudos específicos se há viabilidade de implantação de um sistema fotovoltaico em residências de determinadas classes sociais e econômicas, foi definido um fluxo de atividades, que foram executadas ao longo do período de desenvolvimento do estudo.

Para tanto, foi utilizada a metodologia de mapeamento de processos administrativos chamada EPC (*Event Driven Process Chain*), ou "Cadeia de Processos Dirigida por Eventos", que é um conceito que une gestão de negócios e tecnologia da informação com foco na otimização dos resultados no estudo através de melhorias nos

processos. Segundo esta metodologia um processo é modelado segundo o fluxo de eventos e funções presentes nestes processos.

A figura 7 descreve o fluxo de processos seguido durante o desenvolvimento deste trabalho.

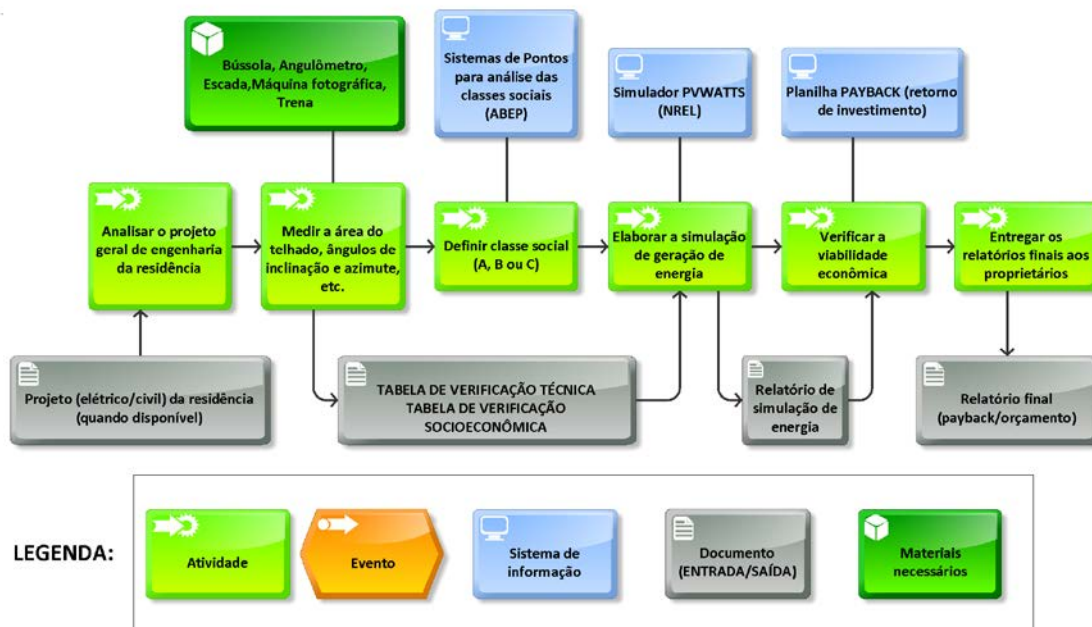


FIGURA 2 - FLUXO DE PROCESSOS
 FONTE: OS AUTORES (2016)

Conforme a figura 2, o fluxo de processos utilizado no presente trabalho foi dividido em 7 etapas:

A primeira etapa, analisar o projeto geral de engenharia da residência, se possível utilizando a face norte do telhado da residência para instalação dos painéis. Durante esta atividade, os técnicos de campo responsável pela visita também deverão preencher um formulário técnico, contendo ao menos os seguintes campos:

A segunda etapa é a atividade de medição em campo, realizada pela área de "Técnicos de campo", é iniciado após o evento de definição de cliente, e requer o uso de alguns equipamentos.

A terceira etapa, vistoriar e avaliar a residência para definir diferentes classes sociais, A, B ou C, a partir das tabelas de variáveis da ABEP (Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa), elaboradas pelos autores KAMAKURA E MAZZON (2015), utilizar a tabela 1 (Tabela de Variáveis ABEP 2015) e a tabela 2 (Grau de Escolaridade e Serviços Públicos), que mostram as variáveis de cada residência, a escolaridade da pessoa referência e os serviços públicos. O sistema é analisado e atribuído pontos para a residência em pesquisa, no final é elaborado a somatória e atribuído à classe conforme

pontuação na tabela 3 (Tabela de Grau Corte do Critério Brasil, 2015). Assim definirá a classe social de cada residência analisada na pesquisa.

TABELA 1 - (TABELA DE VARIÁVEIS)

	Quantidade				
	0	1	2	3	4 ou +
Banheiros	0	3	7	10	14
Empregados domésticos	0	3	7	10	13
Automóveis	0	3	5	8	11
Microcomputador	0	3	6	8	11
Lava louça	0	3	6	6	6
Geladeira	0	2	3	5	5
Freezer	0	2	4	6	6
Lava roupa	0	2	4	6	6
DVD	0	1	3	4	6
Micro-ondas	0	2	4	4	4
Motocicleta	0	1	3	3	3
Secadora roupa	0	2	2	2	2

FONTE: ABEP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE PESQUISA DEZEMBRO (2015)

A tabela 1 mostra a quantidade de móveis e equipamentos elétricos existentes na residência conforme os pontos apresentados na tabela, para no final somar os pontos no relatório de cada um dos projetos, contemplando todas as informações levantadas durante o trabalho.

TABELA 2 - (TABELA DE GRAU DE INSTRUÇÃO DO CHEFE DE FAMÍLIA E ACESSO A SERVIÇOS PÚBLICOS)

Escolaridade da pessoa de referência		
Analfabeto / Fundamental I incompleto	0	
Fundamental I completo / Fundamental II incompleto	1	
Fundamental II completo / Médio incompleto	2	
Médio completo / Superior incompleto	4	
Superior completo	7	

Serviços Públicos		
	Não	Sim
Água encanada	0	4
Rua pavimentada	0	2

FONTE: ABEP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE PESQUISA
DEZEMBRO (2015)

A tabela 2 é usada para verificar a escolaridade da pessoa de referência na residência para o levantamento do relatório junto com as informações entorno da residência como água encanada e rua pavimentada.

TABELA 3 - (TABELA DE GRAU CORTES DO CRITÉRIO BRASIL)

Classe	Pontos
A	45 - 100
B1	38 - 44
B2	29 - 37
C1	23 - 28
C2	17 - 22
D-E	0 - 16

FONTE: ABEP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE PESQUISA DEZEMBRO (2015)

Na tabela 3, o sistema é analisado e atribuído pontos para a residência em pesquisa, no final é elaborado a somatória e atribuído à classe. Assim definirá a classe social de cada residência analisada na pesquisa, para o desenvolvimento do trabalho na avaliação da viabilidade econômica para a implantação do sistema de micro geração de energia conectada à rede (*grid tied*) Sistema fotovoltaico, para as classes sociais A, B e C.

A quarta etapa foi elaborar a simulação de geração de energia através do simulador PVWatts. Gerou-se simulação de geração energia elétrica pelo software PVWATTS para as classes A, B e C (PVWATTS, 2014).

Para estimar as quantidades de energia gerada em relação a diferentes parâmetros de projeto foi utilizado o programa simulador "*PVWatts: A Performance Calculator for Grid-Connected PV Systems*" (PVWATTS, 2016), disponível no sítio do *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), um laboratório de pesquisa que pertence ao Departamento de Energia do governo dos Estados Unidos. Este simulador leva em consideração os parâmetros de potência de pico instalada (medida em Wp, ou "Watt de pico"), fator geral de eficiência de conversão CC-CA (corrente contínua para corrente alternada) e a posição da instalação da fonte fotovoltaica, com objetivo de estimar o volume de energia luminosa (cujas intensidades são determinadas pelo programa a partir da localidade escolhida) que será convertida em energia elétrica útil (medida em kWh ou kilowatt-hora).

A utilização do sistema PVWATTS é útil para estimar a capacidade de geração de energia elétrica de qualquer tipo de sistema fotovoltaico, já que o *software* permite diferentes posições de painéis e a estimativa de montante de energia convertida leva em consideração a especificação de Wp (Watt-pico) nominal do painel fotovoltaico, que é obtida através de testes realizados sob os padrões STC (*standard test conditions*), que pressupõem uma potência gerada a partir de uma radiação luminosa de exatos 1000 W/m² e temperatura de operação de exatos 25°C. Desta forma, considerando-se a mesma radiação solar, eventuais variações na eficiência dos painéis fotovoltaicos com mesma especificação de Wp implicariam apenas no aumento ou diminuição da área utilizada pelas células para converter o mesmo volume de energia.

A quinta etapa foi verificar a viabilidade econômica, todos os dados coletados passaram por análises e cálculos estatísticos nos nove formulários, a fim de determinar o período de retorno do investimento em termos financeiros. O tempo de vida útil do sistema foi definido como de 20 anos.

A sexta etapa consiste em entregar os relatórios finais aos proprietários, contendo os dados da pesquisa, como projetos, requisitos e simulações da análise.

A seguir serão apresentados os principais resultados de classificação de classes sociais para as diferentes residências. A1, A2 e A3 são as residências de classe social A, B1, B2 e B3 são as residências de classe social B, e C1, C2 e C3 são as residências de classe social C.

A tabela 4 mostra os resumos dos tópicos de pontuação para o desenvolvimento do trabalho, para as classes sociais A, B e C, será utilizado conceitos de classificação das classes sociais A, B e C elaboradas pela ABEP. Assim definirá a classe social de cada residência analisada na pesquisa.

TABELA 4 – PONTUAÇÃO PARA VERIFICAÇÃO SOCIOECONOMICA

TABELA DE PONTUAÇÃO PARA VERIFICAÇÃO SOCIOECONOMICA (ABEP) (Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa)									
ITENS DE VERIFICAÇÃO	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
BANHEIROS	14	14	14	7	3	3	3	3	3
EMPREGADA DOMESTICA	13	0	3	0	0	0	0	0	0
AUTOMÓVEIS	5	5	11	3	5	5	3	3	3
MICROCOMPUTADOR	8	6	8	6	6	6	6	0	3
LAVA LOUÇA	3	0	0	0	0	0	0	0	0
GELADEIRA	5	3	3	3	2	3	2	3	2
FREZZER	0	0	2	0	0	2	0	0	0
LAVA ROUPA	4	2	4	2	2	2	2	2	2
DVD	1	1	3	1	1	0	0	0	0
MICROONDAS	4	2	2	2	2	2	2	2	2
MOTOCICLETA	0	0	0	0	1	0	0	0	0
SECADOR DE ROUPAS	2	2	2	2	0	0	0	2	0
ESCOLARIDADE PESSOA REFERENCIA	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
ANALFABETO/FUNDAMENTAL INCOMPLETO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FUNDAMENTAL 1 COMP./ FUNDAMENTAL 2 INCOMP.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FUNDAMENTAL 2 COMP./ MÉDIO INCOMPLETO	0	0	0	0	0	2	0	0	0
MÉDIO INCOMPLETO/ SUPERIOR INCOMPLETO	0	0	4	4	0	0	4	4	4
SUPERIOR COMPLETO	7	7	0	0	7	0	0	0	0
SERV. PUBLICOS	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
ÁGUA ENCANADA	4	4	4	4	4	4	4	4	4
PAVIMENTAÇÃO	2	2	2	2	2	2	2	2	2
TOTAIS	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
TOTAL	72	48	62	36	35	31	28	25	25
CLASSIFICAÇÃO SOCIAL	A	A	A	B	B	B	C	C	C

FONTE: ABEP (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS E PESQUISAS) (2015)

A tabela 5 apresenta o resumo das medições e observações realizadas em campo. A concepção dos telhados, a madeira utilizada e o modelo de telha utilizada são pertinentes às obras civis que seriam necessárias para implantação do sistema. A área da face analisada é a área do telhado mais propícia para geração de energia (face norte), e a

área disponível já leva em consideração a redução de áreas que, por diversos motivos, não poderiam ser utilizadas para instalação dos painéis.

O ângulo de inclinação do telhado e o ângulo de azimute são pertinentes para a simulação de energia gerada pelo sistema (via software PVWATTS).

O tipo de entrada de energia (monofásico, bifásico ou trifásico) é pertinente tanto para a definição dos modelos de inversores a serem usados no sistema para definição do nível de consumo mínimo (em kWh) a ser pago a título de taxa de utilização da rede elétrica. O atual consumo de energia e a possibilidade de aumento de demanda são pertinentes a definição da potência instalada do sistema. A corrente máxima do dispositivo de proteção principal (disjuntor geral), as distâncias entre o sistema até o quadro de distribuição de energia e o medidor de energia são pertinentes para orçamento dos componentes elétricos do sistema.

TABELA 5 – MEDIÇÕES REALIZADAS EM CAMPO

TABELA DE MEDIÇÕES REALIZADAS EM CAMPO			
	Cliente: A1	Cliente: A2	Cliente: A3
CONCEPÇÃO DO TELHADO (VIGAS TESOURAS)	Treliça Warren	Treliça Howe	Treliça Howe
TIPO DE TELHA	shingle	Portuguesa selada	Portuguesa selada
AREA DA FACE ANALIZADA (m ²)	120m²	55m²	20,25m²
AREA DISPONIVEL (m ²)	112m²	48m²	16,20m²
ÂNGULO DO TELHADO (graus)	20°	22°	23°
MADEIRA UTILIZADA	Caibro, pinus e compensado	Caibro e pinus	Caibro e pinus
ENTRADA DE ENERGIA	Trifásica	Trifásica	Trifásica
CORRENTE DISP. GERAL (Amperes)	125A	50A	50A
DISTANCIA DOS PAINÉIS ATÉ O QUADRO (m)	10m	11m	7,2m
CONSUMO MENSAL MÉDIO DE ENERGIA (kWh)	1494,75	470,83	312,92
NECESSIDADE DE AUMENTAR A DEMANDA?	Não	Não	Não
AZIMUTE (graus)	20°	25°	25°
DISTANCIA DO QDG ATÉ O QDM (m)	35m	7m	14,8m
	Cliente: B1	Cliente: B2	Cliente: B3
CONCEPÇÃO DO TELHADO (VIGAS TESOURAS)	Treliça Howe	Treliça Howe	Tesoura simples
TIPO DE TELHA	Francesa	Telha Fibrocimento Ondulada	Francesa
AREA DA FACE ANALIZADA (m ²)	47m²	85m²	50,96m²
AREA DISPONIVEL (m ²)	45m²	52m²	48,26m²
ÂNGULO DO TELHADO (graus)	22,25°	33°	31°
MADEIRA UTILIZADA	Cambara e Cedro	Caibro e pinus	Cambara e pinus
ENTRADA DE ENERGIA	Monofásica	Monofásica	Monofásica
CORRENTE DISP. GERAL (Amperes)	50A	50A	50A
DISTANCIA DOS PAINÉIS ATÉ O QUADRO (m)	4,1m	7m	4m
CONSUMO MENSAL MÉDIO DE ENERGIA (kWh)	210,25	152,83	187,08
NECESSIDADE DE AUMENTAR A DEMANDA?	Não	Não	Não
AZIMUTE (graus)	30°	30°	20°
DISTANCIA DO QDG ATÉ O QDM (m)	18,3m	8m	8,5m
	Cliente: C1	Cliente: C2	Cliente: C3
CONCEPÇÃO DO TELHADO (VIGAS TESOURAS)	Treliça Howe	Treliça Howe	Treliça Howe/Tesoura com tirantes
TIPO DE TELHA	Fibro cimento ondulado 8mm	Fibro cimento ondulado 8mm	Romana
AREA DA FACE ANALIZADA (m ²)	77,28m²	64m²	63,4m²
AREA DISPONIVEL (m ²)	53,36m²	42m²	36m²
ÂNGULO DO TELHADO (graus)	27°	25°	23°
MADEIRA UTILIZADA	Cambara e pinus	Cambara e Cedro	Cambara e pinus
ENTRADA DE ENERGIA	Monofásica	Monofásica	Bifásica
CORRENTE DISP. GERAL (Amperes)	50A	50A	50A
DISTANCIA DOS PAINÉIS ATÉ O QUADRO (m)	4 m	5 m	9 m
CONSUMO MENSAL MÉDIO DE ENERGIA (kWh)	110,17	129,5	155,5
NECESSIDADE DE AUMENTAR A DEMANDA?	Não	Não	Não
AZIMUTE (graus)	30°	25°	25°
DISTANCIA DO QDG ATÉ O QDM (m)	10m	12m	15m

FONTE: OS AUTORES (2016)

A tabela 6 traz um resumo das simulações geradas através do software PVWATTS, assim como dados gerais dos painéis e dos inversores.

TABELA 6 - RESUMO DOS RESULTADOS DE SIMULAÇÃO DE ENERGIA

PAINÉIS, INVERSORES E ESTIMATIVAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA (PVWATTS)					
		Cliente: A1	Cliente: A2	Cliente: A3	
Quant. de painéis		56	16	9	
Custo dos painéis		R\$ 56.000,00	R\$ 16.000,00	R\$ 9.000,00	
Modelo do inversor		PHB20KWDT (energystore)	SF5000TL (LUZSOLARIS)	SF3000TL (energystore)	
Custo dos inversores		R\$ 28.500,00	R\$ 5.999,00	R\$ 4.890,00	
Geração no primeiro ano (PVWATTS)	Janeiro	2098 kWh	338 kWh	287 kWh	CLASSE A
	Fevereiro	1742 kWh	439 kWh	269 kWh	
	Março	1727 kWh	397 kWh	266 kWh	
	Abril	1157 kWh	446 kWh	353 kWh	
	Maior	1286 kWh	492 kWh	307 kWh	
	Junho	1637 kWh	523 kWh	325 kWh	
	Julho	1843 kWh	551 kWh	371 kWh	
	Agosto	1402 kWh	543 kWh	376 kWh	
	Setembro	1173 kWh	533 kWh	304 kWh	
	Outubro	1133 kWh	447 kWh	293 kWh	
	Novembro	1233 kWh	500 kWh	308 kWh	
	Dezembro	1506 kWh	441 kWh	296 kWh	
		Cliente: B1	Cliente: B2	Cliente: B3	
Quant. de painéis		7	5	6	
Custo dos painéis		R\$ 7.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 6.000,00	
Modelo do inversor		SF3000TL (LUZSOLARIS)	SF1600TL (LUZSOLARIS)	SF1600TL (LUZSOLARIS)	
Custo dos inversores		R\$ 4.899,00	R\$ 4.299,00	R\$ 4.299,00	
Geração no primeiro ano (PVWATTS)	Janeiro	231 kWh	162 kWh	185 kWh	CLASSE B
	Fevereiro	209 kWh	142 kWh	174 kWh	
	Março	212 kWh	144 kWh	180 kWh	
	Abril	202 kWh	140 kWh	179 kWh	
	Maior	248 kWh	156 kWh	193 kWh	
	Junho	251 kWh	167 kWh	191 kWh	
	Julho	186 kWh	175 kWh	204 kWh	
	Agosto	191 kWh	165 kWh	206 kWh	
	Setembro	195 kWh	130 kWh	184 kWh	
	Outubro	222 kWh	140 kWh	177 kWh	
	Novembro	181 kWh	156 kWh	183 kWh	
	Dezembro	195 kWh	157 kWh	189 kWh	
		Cliente: C1	Cliente: C2	Cliente: C3	
Quant. de painéis		3	4	4	
Custo dos painéis		R\$ 3.000,00	R\$ 4.000,00	R\$ 4.000,00	
Modelo do inversor		SF16000TL (LUZSOLARIS)	SF16000TL (LUZSOLARIS)	SF16000TL (LUZSOLARIS)	
Custo dos inversores		R\$ 4.299,00	R\$ 4.299,00	R\$ 4.299,00	
Geração no primeiro ano (PVWATTS)	Janeiro	113 kWh	135 kWh	161 kWh	CLASSE C
	Fevereiro	105 kWh	127 kWh	152 kWh	
	Março	106 kWh	121 kWh	159 kWh	
	Abril	104 kWh	127 kWh	147 kWh	
	Maior	115 kWh	132 kWh	156 kWh	
	Junho	117 kWh	138 kWh	162 kWh	
	Julho	121 kWh	133 kWh	169 kWh	
	Agosto	110 kWh	137 kWh	158 kWh	
	Setembro	107 kWh	126 kWh	140 kWh	
	Outubro	104 kWh	119 kWh	145 kWh	
	Novembro	111 kWh	128 kWh	154 kWh	
	Dezembro	109 kWh	131 kWh	163 kWh	

FONTE: OS AUTORES (2016)

Ainda em relação a tabela 6, os painéis fotovoltaicos foram considerados com uma potência de 250 Wp e com um preço de R\$ 1000 cada (compatível com os preços de mercado de 2016). A estimativa de energia gerada no primeiro ano é mostrada em kWh a cada mês. Para os demais meses, foi considerada uma redução de 1% ao ano na produção de energia.

Todos os modelos de inversores utilizados nas estimativas de custo constam na lista de modelos homologados pela concessionária de energia COPEL.

Para definição dos custos da mão de obra civil e elétrica foi definido um valor fixo de R\$250/metro, observando-se um custo mínimo de R\$1000. Como custo de projeto foi definido um valor de 10% do somatório dos demais valores, que englobam:

- Custo dos Painéis FV;
- Custo dos inversores;
- Custo da obra civil/elétrica;
- Custo de projeto;
- Materiais (civil mais elétrica).

Para definição do custo de outros materiais para instalação elétrica (condutores, disjuntores, conexões, etc.) foi definido um valor de 3% do custo do (s) inversor (es) e dos painéis somados.

Para definir o valor dos suportes mecânicos para os painéis foi definido um custo de R\$100/painel.

Para definição de materiais de construção civil foi definido um valor de R\$20/metro da distância dos painéis até o quadro de distribuição.

O custo (em R\$) por kWh utilizado foi o valor da fatura total subtraída da taxa de iluminação pública, divididos pelo consumo em kWh do mês de referência. O custo de faturamento como consumo mínimo foi definido como:

- 30kWh para sistemas monofásicos;
- 50kWh para sistemas bifásicos;
- 100kWh para sistemas trifásicos.

Os parâmetros de insolação foram definidos a partir das medições realizadas no aeroporto Afonso Pena (São José dos Pinhais, região metropolitana de Curitiba), disponibilizadas pelo software PVWATTS.

Na tabela 7 tem-se resultados de cada residência com os valores da potência instalada, a quantidade de painéis utilizados para os cálculos, o preço de energia em kWh fornecido pela concessionária COPEL (que se mostrou igual para todas as classes sociais e não considera a taxa de iluminação pública).

TABELA 7 - RESULTADOS GERAIS E RETORNO DE INVESTIMENTO PARA CADA RESIDÊNCIA

TABELA DE COMPARAÇÃO DE DADOS GERAIS E RETORNO DE INVESTIMENTO			
	Cliente: A1	Cliente: A2	Cliente: A3
Potência Instalada	14 kWp	4 kWp	2,25 kWp
Quantidade de painéis	56	16	9
Preço por kWh (boleto da concessionária)	R\$ 0,78	R\$ 0,78	R\$ 0,78
Média de energia mensal gerada (20 anos)	1313,6 kWh	373 kWh	209,7 kWh
Média da economia mensal (20 anos)	R\$ 988,16	R\$ 262,28	R\$ 150,47
Custo total	R\$ 104.868,50	R\$ 29.951,87	R\$ 18.865,77
Custo/Wp (instalação)	R\$ 7,49	R\$ 7,49	R\$ 8,38
Payback no mês de:	Maio do 9º ano	Abril do 10º ano	Março do 11º ano
Retorno financeiro em 20 anos	R\$ 132.288,97	R\$ 32.995,22	R\$ 17.247,69
Retorno financeiro em 20 anos (percentual)	126,1%	110,2%	91,4%
	Cliente: B1	Cliente: B2	Cliente: B3
Potência Instalada	1,75 kWp	1,25 kWp	1,5 kWp
Quantidade de painéis	7	5	6
Preço por kWh (boleto da concessionária)	R\$ 0,78	R\$ 0,78	R\$ 0,78
Média de energia mensal gerada (20 anos)	162,1 kWh	115,6 kWh	140,8 kWh
Média da economia mensal (20 anos)	R\$ 122,84	R\$ 87,57	R\$ 109,30
Custo total	R\$ 15.469,27	R\$ 13.164,77	R\$ 13.516,77
Custo/Wp (instalação)	R\$ 8,84	R\$ 10,53	R\$ 9,01
Payback no mês de:	Fevereiro do 11º ano	Março do 13º ano	Novembro do 10º ano
Retorno financeiro em 20 anos	R\$ 14.011,83	R\$ 7.850,97	R\$ 12.715,36
Retorno financeiro em 20 anos (percentual)	90,6%	59,6%	94,1%
	Cliente: C1	Cliente: C2	Cliente: C3
Potência Instalada	0,75 kWp	1 kWp	1 kWp
Quantidade de painéis	3	4	4
Preço por kWh (boleto da concessionária)	R\$ 0,78	R\$ 0,78	R\$ 0,78
Média de energia mensal gerada (20 anos)	69,6 kWh	93,2 kWh	93,2 kWh
Média da economia mensal (20 anos)	R\$ 53,81	R\$ 71,34	R\$ 72,67
Custo total	R\$ 9.787,77	R\$ 11.327,77	R\$ 12.515,77
Custo/Wp (instalação)	R\$ 13,05	R\$ 11,33	R\$ 12,52
Payback no mês de:	Outubro do 15º ano	Novembro do 13º ano	Dezembro do 14º ano
Retorno financeiro em 20 anos	R\$ 3.126,62	R\$ 5.794,25	R\$ 4.924,81
Retorno financeiro em 20 anos (percentual)	31,9%	51,2%	39,3%

FONTE: OS AUTORES (2016)

Os resultados mostram que a média mensal de energia gerada pelo sistema fotovoltaico em um período de 20 anos, a média de economia mensal gerada em 20 anos, o custo total para instalação do sistema (*on grid*), o custo por Watt-pico, o tempo de retorno de investimento (*payback*) e o retorno financeiro para os clientes após 20 anos (já se deduzindo o investimento inicial) em termos absolutos e de percentual do valor investido.

Se o retorno financeiro acontecer antes dos 20 anos de vida útil do sistema, significa que conseguiu gerar energia suficiente para compensar o seu investimento inicial.

No entanto, ainda assim os resultados podem suscitar algumas considerações peculiares: A instalação do sistema fotovoltaico se mostrou viável (o tempo de retorno de investimento é menor que a vida útil do sistema) para todas as classes sociais, porém os

estudos apontaram que o retorno financeiro é maior para as residências da classe A (que possuem o maior consumo), intermediário para a classe B (que possuem consumo intermediário) e pequeno para a classe C (que possuem o menor consumo).

A tabela 8 traz um resumo, por classe social, que evidencia a maior viabilidade financeira dos sistemas fotovoltaicos para as classes sociais mais abastadas, uma vez que compara os resultados mínimos e máximos de custo por Watt-pico instalado, de tempo de *payback* e de retorno financeiro sobre o investimento inicial após um período de 20 anos (vida útil do sistema).

TABELA 8 - RESUMO DOS RESULTADOS GERAIS E RETORNO DE INVESTIMENTO PARA CADA CLASSE

RESUMO GERAL DE VIABILIDADE DO SISTEMA FV				
CLASSE A				
	mínimo		máximo	
Custo/Wp (instalação)	R\$	7,49	R\$	8,38
Data de <i>payback</i>	Mai do 9º ano		Março do 11º ano	
Retorno financeiro em 20 anos	91,4%		126,1%	
CLASSE B				
	mínimo		máximo	
Custo/Wp (instalação)	R\$	8,84	R\$	10,53
Data de <i>payback</i>	Novembro do 10º ano		Março do 13º ano	
Retorno financeiro em 20 anos	59,6%		94,1%	
CLASSE C				
	mínimo		máximo	
Custo/Wp (instalação)	R\$	11,33	R\$	13,05
Data de <i>payback</i>	Novembro do 13º ano		Outubro do 15º ano	
Retorno financeiro em 20 anos	31,9%		51,2%	

FONTE: OS AUTORES (2016)

3. CONCLUSÃO

Os resultados evidenciam, portanto, que quanto maior a capacidade econômica, maior a taxa de retorno sobre o investimento inicial. Em suma, o sistema fotovoltaico, que tem um grande potencial de gerar independência energética ao pequeno consumidor, se mostra mais propício a criar esta independência a classes sociais mais abastadas, que já teriam certa independência por conta de sua própria condição financeira.

Espera-se, por fim, que o presente trabalho possa contribuir na discussão sobre eventuais fomentos e incentivos para sistemas de micro geração distribuída em pequenas

residências, de modo a permitir que os pequenos consumidores, em um futuro próximo, possam ajudar a tornar a matriz de geração de energia brasileira mais limpa e diversa, e que possam ser recompensados por isso de maneira mais justa e igualitária.

4. REFERÊNCIAS

ABEP (Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa). **Apresentação - Lançamento Critério Brasil 2015** p.18-22. Acessado em 03 de Junho de 2016. Disponível em: <<http://www.abep.org/criterio-brasil>>.

ANEEL Legislação (2015). **Resolução Normativa nº 687, de 24 de Novembro de 2015**. Brasília: , 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acessado em 25 de Janeiro de 2015.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (COPEL) (Paraná). **Micro e Minigeração – Sistema de Compensação de Energia Elétrica** - Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2FB57635122BA32D4B03257B630044F656>>. Acessado em 04 de Fevereiro de 2016.

EPC (*Event Driven Process Chain*). **Business Process Modelling**. Acessado em 10 de dezembro de 2015. Disponível em: <<http://www.ariscommunity.com/event-driven-process-chain>>.

GOLDEMBERG, J.; LUCON O.; **Energia e meio ambiente no Brasil**. 1º ed. São Paulo: Atlas 2006. p.55.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO) **Legislação Resolução Normativa nº357**. Acessado em 8 Fevereiro de 2016. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002145.pdf>>.

KAMAKURA, Wagner A.; MAZZON, Jose Afonso. **Estratificação Socioeconômica e Consumo no Brasil**. Nacional: Blucher, 2015. p. 22-25.

MANSUR SOLAR – **Produtos e Serviços**. Acessado em 10 Janeiro de 2016. Disponível em: <<http://mansur-solar.com>>.

PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas). **Tabelas de Variáveis**. Acessado em 04 de Junho de 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/proinfa>>.

PVWATTS - NREL's PVWatts® **Calculator, NREL**. Acessado em 11 de Maio de 2016. Disponível em: <<http://pvwatts.nrel.gov/>>.