

PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ABRIGOS DE PONTOS DE ÔNIBUS NA AV. ALMIRANTE BARROSO – BELÉM/PA

Ana Laura Pinheiro Ruivo Monteiro – alpruivo@gmail.com

Edinaldo José da Silva Pereira – edinaldojsp@ufpa.br

Universidade Federal do Pará - Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas

Marcelo José Raiol Souza – mraiol@yahoo.com.br

Universidade do Estado do Pará - Departamento de Engenharia Florestal.

7. IMPACTOS SOCIAIS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS.

Resumo. A iluminação noturna via fonte solar em abrigos de pontos de ônibus em Belém, além de se utilizar de uma fonte de energia renovável, também proporciona conforto e segurança para os usuários de transporte público. A eletricidade proporcionada por esta tecnologia pode também ser direcionada para o carregamento de baterias de celular, contribuindo para o atendimento de necessidades de trabalho, emergência ou lazer. Este trabalho tem por objetivo projetar um sistema fotovoltaico e estudar a viabilidade econômica de geração de energia elétrica para abrigos de pontos de ônibus da Avenida Almirante Barroso, Belém - Pará. Utilizou-se o Método de Lumens para o cálculo luminotécnico, seguido do dimensionamento dos componentes do sistema proposto para cada modelo de abrigo. Este sistema é composto de módulos fotovoltaicos, controlador de carga, banco de baterias, sensor fotoelétrico, luminárias para lâmpadas LED e portas USB. Para análise econômica, fez-se o uso do Valor Presente Líquido (VPL). O sistema proposto para cada modelo de abrigo gera eletricidade suficiente para atender satisfatoriamente o consumo necessário de cada cenário estudado, gerando uma estimativa anual de 192,28 kWh para o modelo de abrigo 1, 330,30 kWh para o modelo 2, 413,27 kWh para o modelo 3, 660,61 kWh para o modelo 4 e 330,30 kWh para o modelo de abrigo 5. Entretanto, apesar do sistema ser considerado economicamente inviável para todos os modelos de abrigo, pois não há uma completa compensação financeira do investimento, dentro de seu ciclo de vida útil, estimado em 25 anos, os benefícios quanto à segurança e comodidade são evidentes.

Palavras - chave: Energia renovável, Iluminação fotovoltaica, Sistema autônomo.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de iluminação pública contribui para uma melhoria de segurança da população no espaço urbano, promovendo melhor qualidade de vida aos transeuntes. Paralelamente, é importante atentar para a necessidade de uma maior eficiência do sistema de iluminação e do uso racional dos recursos energéticos naturais, contribuindo, em última análise, com a preservação do meio ambiente.

Conforme dados divulgados pela cartilha do CREA-PR, Schulz (2016), a iluminação pública é responsável por aproximadamente 4,5 % da demanda nacional, e a 3,0 % do consumo total de energia elétrica do país, o que equivale a uma demanda de 2,2 GW e a um consumo de 9,7 bilhões de kWh/ano. Por conseguinte, observa-se que a iluminação pública responde por um consumo energético considerável para o país.

A iluminação noturna via fonte solar em abrigos de pontos de ônibus em Belém, além de utilizar uma fonte de energia renovável, proporciona mais conforto e, principalmente, segurança aos usuários de transporte público, pois a penumbra muitas vezes pode expor essas pessoas à ação de assaltantes e os locais públicos ao ataque de vândalos. Uma forma também de aproveitar a energia elétrica gerada por esse sistema é através da instalação de portas USB para carregamento de bateria de aparelhos celulares.

2. METODOLOGIA

2.1 Caracterização da área de estudo

A Avenida Almirante Barroso, que já foi conhecida como a Estrada de Ferro Belém-Bragança (1885) e depois como Av. Tito Franco (1929), é considerada a principal via de entrada e saída do município de Belém do Pará. A citada avenida é um dos principais corredores viários da Região Metropolitana de Belém, sendo de grande importância para o ordenamento territorial da capital paraense, interligando-se à Rodovia BR-316, estabelecendo uma conexão a outros municípios da região metropolitana de Belém (Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Bárbara, Santa Isabel e Castanhal). Esta via apresenta uma extensão de aproximadamente 6 km e, abrange os bairros de São Brás, Marco, Souza e Castanheira.

Foi realizada uma visita em loco, no mês de junho de 2016, para levantar a quantidade de abrigos de pontos de ônibus existentes na avenida, assim como seus respectivos modelos.

No traçado da avenida de duplo sentido, encontram-se 33 paradas de ônibus, ilustradas na Fig. 1, sendo 17 paradas no sentido Mercado de São Brás – Entroncamento, representadas pelos números pares, e 16 paradas no sentido inverso, identificadas pelos números ímpares.



Figura 1 - Pontos de ônibus - Av. Alm. Barroso

Em ambas as vias da avenida, identificou-se 4 modelos de abrigos, distintos tanto nas características estruturais como visuais. A Tab. 1 apresenta o perfil de cada modelo em relação às suas dimensões e a quantidade de abrigos de cada modelo.

Tabela 1 - Características dos abrigos.

MODELO	DIMENSÕES (m) (COMPRIMENTO; LARGURA; ALTURA)	ÁREA (m ²)	QUANTIDADE
M1	3,00 x 2,03 x 2,73	6,09	8
M2	6,00 x 2,02 x 2,73	12,18	12
M3	18,34 x 1,83 x 2,87	34,20	1
M4	21,41 x 2,20 x 2,53	44,69	1
M5	6,40 x 2,00 x 2,70	12,80	3

O modelo M3, descrito na Tab. 1, foi dado como referência para o desenvolvimento do sistema, o que facilitou a aplicabilidade da metodologia para o cálculo luminotécnico utilizado neste trabalho. Entretanto, a Av. Almirante Barroso possui mais duas paradas com o mesmo modelo de abrigo, porém de maior comprimento, sendo uma de 36,68 m e outra de 61,13 m, com áreas de 67,12 m² e 111,87 m², respectivamente, as quais não são tratadas neste momento.

Modelou-se graficamente a estrutura civil dos abrigos, a partir da coleta das dimensões de cada modelo, no software de desenho técnico *AutoDesk / AutoCad*, sendo estes considerados cenários para dimensionamento do sistema fotovoltaico, representados nas Fig. 2.

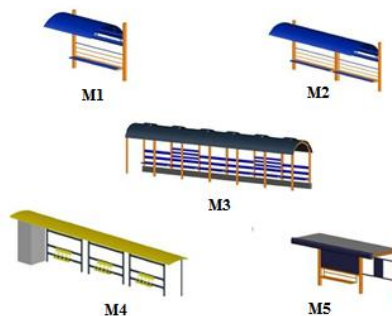


Figura 2 - Modelo das estruturas físicas dos abrigos em estudo.

2.2 Sistema Proposto / Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

A Fig. 3 exemplifica o sistema proposto, no qual a tensão de saída dos painéis e de entrada dos equipamentos integrantes deste, é de 12 V, com exceção das portas USB que são alimentadas com 5 V, devido à padronização da tensão de carregamento das baterias de aparelhos celulares. Essa redução ocorre através de um regulador de tensão que está acoplado à porta USB, característica de adaptadores veiculares para carregamento de bateria de celulares via cabo USB.

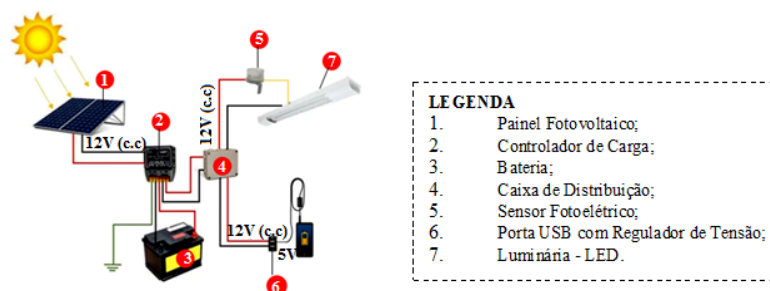


Figura 3 - Sistema fotovoltaico autônomo proposto.

2.3 Dimensionamento do Sistema de Iluminação Interna

Utilizou-se o Método de Lumens para dimensionar o sistema de iluminação. Calculou-se o número de luminárias necessárias para atender o iluminamento das áreas em estudo com base a metodologia de Creder (1995) e a Norma Brasileira ISO/CIE 8995-1:2013 da ABNT, que estabelece os valores de iluminância média mínima em ambientes de trabalho para iluminação de interiores.

A Norma enuncia que 20 lux de iluminância horizontal, no mínimo, são exigidos para reconhecer as características da face humana. Como a proposta do trabalho é iluminar um ambiente de modo a visualizar uma pessoa, sem necessidade de desenvolver qualquer tarefa com maior grau de definição, estimou-se um nível de iluminância mínimo de 30 lux. Utilizou-se como referência para este trabalho a lâmpada de LED tubular modelo T8 e de potência de 9W, da Solarled.

Em seguida, fez-se a escolha da luminária, definida como comercial e provida de colmeia. A determinação do índice de local, que relaciona as dimensões da área com a altura da luminária em relação ao plano de trabalho, foi escolhida para a iluminação direta, sendo essa estipulada a partir das dimensões de cada modelo de abrigo. Após a realização destas etapas o número de luminárias para cada modelo de abrigo pôde ser determinado.

2.4 Dimensionamento dos Geradores Fotovoltaicos

Para dimensionamento do gerador fotovoltaico, necessário para atender cada abrigo, foi considerado o mês de incidência solar mais crítico em Belém, mês de março, buscando garantir o atendimento das cargas durante todo o período requerido. A Tab. 3 mostra a irradiância solar média incidente na cidade de Belém, no ano de 2013, dados esses medidos localmente.

Tabela 3 - Níveis de irradiância mensal - kWh/m² (Maia, 2015).

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
3,9	4,02	3,89	4,88	5,31	5,41	5,84	5,62	5,90	6,28	5,43	4,97

O número de horas de sol pleno (HSP) é importante para calcular a potência do gerador fotovoltaico. Segundo Seguel (2009), essa grandeza reflete o número de horas em que a radiação solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m², de tal forma que a energia resultante seja equivalente à energia acumulada durante o dia, representada pela Eq. (1).

$$HSP \text{ (h/dia)} = \frac{\text{Mês crítico de irradiância solar (kWh/m}^2\text{)}}{1\text{kW/m}^2} \quad (1)$$

Ao dimensionar o consumo de energia elétrica requerido para cada cenário, consideraram-se os valores quantitativos das potências de cada elemento que será instalado nas paradas, lâmpadas e pontos USB, e as horas de uso dos mesmos.

Segundo Carneiro (2009), as perdas no sistema fotovoltaico apresentam em geral, 3 % para o cabeamento, 3 % para sujeira nos módulos, 10 % para o fator temperatura, 14 % para o controlador de carga em conjunto ao quadro de baterias. Dentre estas, ainda existem as perdas por eventuais sombreamentos, que atingem valores de aproximadamente 5 % em cenários urbanos (MELO, 2012). O fator de perda foi estimado em 0,7, considerando uma redução de 30 % da eficiência do sistema.

A potência do sistema, necessária para sustentar o consumo diário de cada abrigo, durante o pior mês de radiação solar, pode ser calculada pela Eq. 2, adaptada de Alvarenga (sem data), onde Fp corresponde ao fator de potência.

$$P (Wp) = \frac{\text{Consumo diário de energia (Wh/Dia)}}{HSP \times Fp} \quad (2)$$

2.5 Dimensionamento do Banco de Baterias

Para estimar o banco de baterias necessário para atender cada abrigo é muito importante determinar o tempo de autonomia que estas devem ter para alimentar as cargas por determinado tempo, mesmo que não haja a geração de energia devido à falta de radiação solar. Como a região de estudo apresenta alto índice de radiação solar durante o ano, face sua característica climática, considerou-se que a autonomia será de apenas dois dias.

Sempre que a bateria descarrega e é recarregada, saindo do estado de plena carga, finaliza-se um ciclo desta. Relacionado a isto, define-se a profundidade de descarga máxima (%), que por sua vez determina o limite de energia a ser retirado do banco de baterias. Para este projeto foi adotado o valor de 0,3 ou 30 %, com o propósito de aumentar a vida útil da bateria, pois a profundidade dos ciclos é inversamente proporcional à durabilidade efetiva do quadro de depósito de carga. Portanto, a capacidade do banco de baterias foi calculada com base na Eq. 3, no qual a Tensão_B é a tensão nos terminais do banco de baterias.

$$\text{Capacidade (Ah)} = \frac{\text{Consumo total (Wh/Dia)} \times \text{Autonomia(Dias)}}{\text{Tensão}_B \times \text{Profundidade de descarga}_{m\acute{a}xima}} \quad (3)$$

2.6 Dimensionamento do Controlador de Carga

O controlador de carga deve ser dimensionado com base nas características do sistema fotovoltaico que está sendo utilizado e da carga demandada. Os níveis máximos das correntes elétricas envolvidas no sistema são de fundamental importância para a determinação das características deste, tanto das que se originam no módulo fotovoltaico quanto das que são solicitadas pelas cargas.

A capacidade do controlador deve ser superior a corrente dos painéis ou as de consumo, na que tiver maior valor, fazendo-se necessário calcular ambas as correntes.

Para determinar a corrente máxima solicitada pelas cargas, relacionou-se a potência total exigida pela carga e tensão do banco de baterias, conforme exposto pela Eq. 4.

$$\text{Corrente do controlador}_{carga} = \left(\frac{\text{Potência (W)}}{\text{Tensão}_B (V)} \right) \quad (4)$$

Para o cálculo da corrente proveniente dos módulos utilizou-se a Eq.5, onde I_{cc} é a corrente de curto circuito do módulo fotovoltaico (obtida pelas informações técnicas fornecidas pelo fabricante).

$$\text{Corrente do controlador}_{m\acute{o}dulos} = I_{cc} (A) \times n^{\circ} \text{ de módulos em paralelo} \quad (5)$$

2.7 Análise Econômica

Para o cálculo de viabilidade econômica deste projeto utilizou-se o Valor Presente Líquido (VPL).

O indicador foi calculado usando o *software Microsoft Office - Excel*, a partir de variáveis como o fluxo de caixa, resultante da entrada e saída de recursos financeiros do projeto durante 25 anos, partindo do ano de instalação, o custo de energia gerada/evitada, custo de manutenção e operação e, de substituição de equipamentos de acordo com a vida útil estimada destes, no caso do sistema proposto. O banco de baterias e o controlador de carga são os equipamentos que devem ser substituídos, o primeiro a cada três anos e, o último a cada dez anos.

Para o estudo destas variáveis tomou-se como referência os cálculos desenvolvidos por Pereira *et al* (2014), adaptando-as para o sistema fotovoltaico autônomo em estudo.

Para o cálculo do fluxo de caixa, representada pela Eq. 6, levou-se em consideração o valor da energia produzida (C_{EN}) em relação ao custo de operação e manutenção (C_{O&M}) em função da taxa de inflação (g), que foi estimada a partir da média do Índice Geral de Preços (IGPI) em 7,4% entre os anos de 2010 e 2015, onde PRV é o valor presente total dos equipamentos substituídos.

$$Q_j = (C_{EN} - (C_{O\&M} + PRV) \times (1 + g)^j) \quad (6)$$

Calculou-se o custo da energia produzida (C_{EN}), através da relação direta entre a energia gerada (E_{GER}), em kWh, e a tarifa de iluminação pública ajustada, mostrada na Eq. 7. A tarifa ajustada foi estimada a partir da média tarifária dos últimos 10 anos, do Estado do Pará, excetuando-se os anos atípicos, resultando o valor de 10,19 %.

$$C_{EN} = E_{GER} \times \text{Tarifa ajustada} \quad (7)$$

A energia anual produzida foi estimada, partindo da média da irradiância mensal relacionada ao rendimento do painel fotovoltaico em conjunto com a área do mesmo, e associado ao fator de perdas, para cada ano, descrita na Eq. 8. Este cálculo foi adaptado do trabalho de Miranda (2014), no qual n expressa o número de dias, η a eficiência nominal do painel, I₀ a Irradiação média do mês e A é a Área total do painel fotovoltaico.

$$E_{GER} = \sum_{i=janeiro}^{dezembro} (1 - Fp) \times I_0 \times A \times \eta \times n \quad (8)$$

O custo de manutenção e operação foi estimado, segundo Pereira (2014), em 1% do custo de aquisição dos módulos para cada modelo de abrigo, sendo feito uma somatória para o período de 25 anos (N). Esse valor é dado a cada ano j pela Eq. 9. Adotou-se ainda uma taxa de desconto (i) anual de 10 %, valor comum entre aplicações financeiras.

$$C_{O\&Mj} = \sum_{j=1}^N \frac{0,01 \times \text{Custo dos módulos}}{(1 + i)^j} \quad (9)$$

O valor presente total dos equipamentos substituídos (PRV) foi determinado a partir da Eq. 10, onde AVE é o valor de aquisição de equipamento e y o ano de substituição de equipamento.

$$PRV = \sum_y \frac{AVE + (AVE \times g \times y)}{(1 + i)^y} \quad (10)$$

Para a quantificação do custo inicial aplicado ao projeto, foram levados em consideração os custos dos componentes que fazem parte do sistema proposto, como segue na Tab. 4, assim como suas respectivas quantidades utilizadas para cada cenário em estudo, mais o custo de instalação. Segundo Pereira *et al* (2014), o custo de instalação dos módulos é dado como 10 % do custo de aquisição dos mesmos. Partindo disso, adotou-se neste trabalho este mesmo critério para o cálculo do custo de instalação do sistema, incluindo-se também 10 % do custo dos controladores de carga.

Tabela 4 - Investimento do Projeto.

COMPONENTE	Módulo 120W	Módulo 230W	Módulo 320W	Controlador MPPT 10A	Bateria 90Ah	Bateria 100Ah
PREÇO UNITÁRIO (R\$)	539	854	1.190,00	599	320	350
COMPONENTE	Sensor fotoelétrico	Suporte	Cabo	Carregador USB	Lâmpada de Tubo	Luminária
PREÇO UNITÁRIO (R\$)	27	20	2,5	8	54	90

Para o cálculo do VPL, fez-se o uso de todos os indicadores e variáveis citados anteriormente, relacionando o fluxo de caixa à taxa de desconto, aos pagamentos futuros, custo de operação e manutenção e a substituição de equipamentos, e a receita, custo da energia entregue pelos módulos fotovoltaicos.

$$VPL = -CT + C_{EN} + \frac{Q_1}{(1 + i)} + \frac{Q_2}{(1 + i)^2} + \dots + \frac{Q_N}{(1 + i)^N} = -CT + \sum_{j=1}^N \frac{Q_j}{(1 + i)^j} \quad (11)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O cálculo luminotécnico, pelo Método de Lumens, quantifica o número de luminárias necessárias para iluminar as áreas dos cenários em estudo, sem comprometer as atividades desenvolvidas em cada espaço pelos usuários, ou mesmo desperdiçar energia por superdimensionamento dos sistemas. A Tab. 5 expressa a quantidade destas para cada modelo de abrigo, além da quantidade de portas USB, determinadas de acordo com o comprimento de cada abrigo.

Tabela 5 - Luminárias e Portas USB por modelo de abrigo.

MODELO DE ABRIGO	LUMINÁRIA (QUANTIDADE)	PORTA USB (QUANTIDADE)
M1	0,86 \cong 1	2
M2	1,42 \cong 2	3
M3	2,96 \cong 3	4
M4	3,86 \cong 4	4
M5	1,27 \cong 2	3

A Tab. 6 descreve o consumo diário de energia solicitado por cada modelo de abrigo com base na quantidade de lâmpadas e portas USB.

Tabela 6 - Consumo diário de energia elétrica.

	CARGA	POTÊNCIA (W)	TENSÃO (V)	USO (h/dia)	QUANTIDADE	ENERGIA (Wh/dia)
M1	Lâmpada de LED	9	12	12	2	216
	Porta USB	5	5	10	2	100
TOTAL						316
M2	Lâmpada de LED	9	12	12	4	432
	Porta USB	5	5	10	3	150
TOTAL						582
M3	Lâmpada de LED	9	12	12	6	648
	Porta USB	5	5	10	4	200
TOTAL						848
M4	Lâmpada de LED	9	12	12	8	864
	Porta USB	5	5	10	4	200
TOTAL						1064
M5	Lâmpada de LED	9	12	12	4	432
	Porta USB	5	5	10	3	150
TOTAL						582

A partir da Eq. 2, em conjunto com a análise do consumo diário apresentado na Tab. 6, determinou-se a potência do gerador fotovoltaico, em Wp, de cada cenário estudado, exibidos na Tab. 7. Com base nisso, obteve-se o número mínimo de painéis fotovoltaicos que devem ser instalados, gerando energia elétrica suficiente para alimentar as cargas e carregar o banco de baterias de cada abrigo. A quantificação do número de geradores fotovoltaicos foi feita para módulos solares com algumas características técnicas diferentes, como pode ser visualizado na Tab. 8, com o objetivo de diminuir os custos e a geração de um grande excedente de energia elétrica.

Tabela 7 - Potência mínima do gerador fotovoltaico para determinação do número de módulos.

MODELO DE ABRIGO	POTÊNCIA MÍNIMA [Wp]	NÚMERO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
M1	116,05	1 de 120 Wp
M2	213,73	1 de 230 Wp
M3	311,42	1 de 320 Wp
M4	390,74	2 de 230 Wp
M5	213,73	1 de 230 Wp

Tabela 8 - Características dos módulos fotovoltaicos.

	Área (m)	Eficiência %
Módulo fotovoltaico 120 Wp	1,00	14,90
Módulo fotovoltaico 230 Wp	1,62	15,80
Módulo fotovoltaico 320 Wp	1,92	16,68

Através da relação do consumo diário do módulo com a tensão da bateria, em conjunto com a profundidade de descarga da mesma e, considerando a autonomia da bateria para dois dias, expresso pela Eq. 3, pôde-se determinar o número de baterias que irá atender à demanda de cada cenário proposto. Os resultados estão demonstrados na Tab. 9. A solução adotada foi a de menor capacidade de armazenamento, portanto a que contempla 2 baterias de 90 Ah.

Tabela 9 - Relação da Capacidade (Ah) e quantidade de baterias para cada modelo de abrigo.

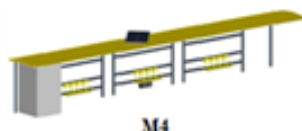
MODELO DE ABRIGO	M1	M2	M3	M4	M5
CAPACIDADE (Ah)	176	324	471	591	324
BATERIA (QUANTIDADE)	2 de 90 Ah	4 de 90 Ah	5 de 100 Ah	6 de 100 Ah	4 de 90 Ah

Para o dimensionamento do controlador de carga foi necessário calcular as correntes a partir dos geradores fotovoltaicos e do consumo, referente a cada modelo de abrigo. Sendo assim, a Tab. 10 mostra esses dados, que foram calculados pelas Eq. 4 e 5. Com base nestes, escolheu-se controladores apropriados para sistemas *off-grid*, que operam em tensão de 12 V, com algoritmo de carga da bateria por MPPT (Ponto Rastreador de Máxima Potência), com corrente acima do calculado para o sistema, tendo como base a corrente de curto circuito dos módulos, já que estas apresentaram-se com valor maior em relação a corrente demandada pelas cargas.

Tabela 10 - Corrente mínima calculada para o controlador de cargas / corrente do controlador

MODELO DE ABRIGO	M1	M2	M3	M4	M5
Icc - módulos (A)	6,71	8,5	9,26	17	8,5
DEMANDA CORRENTE - Cargas (A)	2,33	4,25	6,17	7,67	4,25
CORRENTE DO CONTROLADOR DE CARGA	10	10	10	10	10

A Fig. 4 mostra como ficaria instalado o sistema dimensionado no modelo 4, com os módulos inclinados para o Norte e com um ângulo de 10°. Ressalta-se que, caso os módulos estivessem alinhados com o teto não haveria um comprometimento no desempenho do sistema, já que a cidade está próxima da linha do equador, contribuindo favoravelmente, por outro lado, com a estética do projeto.

**Figura 4 - Modelo da estrutura física do modelo 4, com a instalação do sistema.**

As portas USB foram alocadas individualmente e distribuídas entre as colunas de ferro dos abrigos, de acordo com a quantidade estimada para cada modelo. As luminárias foram distribuídas de acordo com a área dos cenários. O custo inicial total do projeto de implementação do sistema fotovoltaico autônomo, para o Modelo 1 foi de R\$ 2.238,00, Modelo 2 R\$ 3.442,00, Modelo 3 R\$ 4.526,00, Modelo 4 R\$ 5.723,00 e para o Modelo 5 foi de R\$ 3.455,00. A Tab. 11 detalha a relação quantidade (Q) e preço dos componentes, assim como o custo de instalação para cada modelo.

Tabela 11 - Custo inicial de implantação do projeto.

COMPONENTES	M1		M2		M3		M4		M5	
	Q	CUSTO (R\$)	Q	CUSTO (R\$)	Q	CUSTO (R\$)	Q	CUSTO (R\$)	Q	CUSTO (R\$)
Módulo fotovoltaico 120 W	1	539,00								
Módulo fotovoltaico 230 W			1	854,00			2	1.708,00	1	854,00
Módulo fotovoltaico 320 W					1	1.190,00				
Controlador de carga com MPPT 10 A	1	599,00	1	599,00	1	599,00	1	599,00	1	599,00
Bateria automotiva 90 Ah	2	640,00	4	1.280,00					4	1.280,00
Bateria automotiva 100 Ah					5	1.749,95	6	2.099,94		
Sensor fotoelétrico	1	27,00	1	27,00	1	27,00	1	27,00	1	27,00
Suporte Painel Fotovoltaico	4	80,00	4	80,00	4	80,00	8	160,00	4	80,00
Cabo Fotovoltaico	10	25,00	15	38,00	30	75,00	30	75,00	20	50,00
Adaptador Veicular - Carregador USB	2	16,00	3	24,00	4	32,00	4	32,00	3	24,00
Lâmpada de Tubo	2	108,10	4	217,00	6	325,00	8	433,00	4	217,00
Luminária	1	90,00	2	180,00	3	270,00	4	360,00	2	180,00
Custo total		2.124,00		3.297,00		4.347,00		5.492,00		3.310,00
Custo de instalação		114,00		146,00		179,00		231,00		146,00
CUSTO INICIAL		2.238,00		3.442,00		4.526,00		5.723,00		3.455,00

A produção estimada de energia elétrica e a demanda total solicitada para cada abrigo ao ano é apresentada nas Tab. 12 e 13 respectivamente, mostrando que a demanda é plenamente atendida.

Tabela 12 – Energia elétrica gerada por ano (kWh/ano).

	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Σ
M1	12,203	12,579	12,172	15,27	16,615	16,928	18,273	17,585	18,461	19,65	16,99	15,551	192,28
M2	20,963	21,608	20,909	26,231	28,542	29,08	31,391	30,208	31,713	33,756	29,187	26,715	330,3
M3	26,229	27,036	26,162	32,82	35,712	36,384	39,276	37,797	39,68	42,235	36,519	33,425	413,27
M4	41,926	43,216	41,819	52,462	57,084	58,159	62,782	60,417	63,427	67,512	58,374	53,429	660,61
M5	20,963	21,608	20,909	26,231	28,542	29,08	31,391	30,208	31,713	33,756	29,187	26,715	330,3

Tabela 13 - Demanda de energia (kWh/ano).

M1	M2	M3	M4	M5
113,76	209,52	305,28	383,04	209,52

As Tab. 14 e 15 exibem a tarifa de iluminação pública pela Celpa, que foi reajustada para 25 anos, necessária para o cálculo do C_{ENG} , assim como os valores do Custo Total – CT, referente ao custo inicial de investimento do projeto, $C_{O\&M}$ e PRV, resultando em uma variação do fluxo de caixa, entre valores positivos e negativos, o que influenciou diretamente o VPL de cada modelo. Observa-se que os Q negativos deram-se justamente nos anos em que houve substituições do banco de baterias e dos controladores de carga, que são de extrema importância para manter a eficiência do sistema.

Tabela 14 - Estudo Econômico, abrigos M1, M2 e M3.

ANO	Tarifa kWh	M1			M2			M3		
		C _{ENG} (R\$)	CT (R\$)	Q (R\$)	C _{ENG} (R\$)	CT (R\$)	Q (R\$)	C _{ENG} (R\$)	CT (R\$)	Q (R\$)
0			2.237,59	-2.237,59		3.442,06	-3.442,06		4.525,48	-4.525,48
1	0,3111	59,82	5,26	54,55	102,74	8,33	94,41	128,55	11,62	116,93
2	0,3121	60,01	5,14	54,87	103,08	8,14	94,95	128,98	11,34	117,63
3	0,3126	60,11	592,59	-532,47	103,26	1.183,08	-1.079,82	129,20	1.325,84	-1.196,64
4	0,3132	60,22	4,90	55,32	103,45	7,76	95,69	129,43	10,81	118,62
5	0,3137	60,32	4,78	55,54	103,63	7,57	96,05	129,66	10,56	119,10
6	0,3143	60,43	526,32	-465,89	103,81	1.050,69	-946,88	129,88	998,11	-868,23
7	0,3148	60,53	4,56	55,98	103,99	7,22	96,77	130,11	10,07	120,05
8	0,3154	60,64	4,45	56,19	104,17	7,05	97,12	130,34	9,83	120,51
9	0,3159	60,75	456,52	-395,78	104,35	911,23	-806,88	130,57	751,74	-621,18
10	0,3165	60,85	774,14	-713,29	104,54	408,56	-304,02	130,80	779,26	-648,47
11	0,3170	60,96	4,14	56,82	104,72	6,56	98,16	131,02	9,15	121,88
12	0,3176	61,07	389,04	-327,97	104,90	776,40	-671,50	131,25	566,52	-435,27
13	0,3182	61,17	3,95	57,22	105,09	6,25	98,83	131,48	8,72	122,76
14	0,3187	61,28	3,86	57,42	105,27	6,11	99,16	131,71	8,51	123,20
15	0,3193	61,39	327,03	-265,64	105,45	652,49	-547,04	131,94	427,24	-295,29
16	0,3198	61,49	3,68	57,82	105,64	5,82	99,82	132,17	8,12	124,06
17	0,3204	61,60	3,59	58,01	105,82	5,68	100,14	132,41	7,92	124,48
18	0,3209	61,71	271,93	-210,22	106,01	542,40	-436,40	132,64	322,48	-189,84
19	0,3215	61,82	3,42	58,40	106,19	5,42	100,78	132,87	7,55	125,32
20	0,3221	61,93	1.504,01	-1.442,09	106,38	226,10	-119,72	133,10	738,15	-605,05
21	0,3226	62,03	224,13	-162,10	106,57	446,91	-340,34	133,34	243,67	-110,34
22	0,3232	62,14	3,18	58,96	106,75	5,04	101,71	133,57	7,03	126,54
23	0,3238	62,25	3,11	59,14	106,94	4,92	102,02	133,80	6,86	126,94
24	0,3243	62,36	183,40	-121,04	107,13	365,55	-258,42	134,04	184,37	-50,33
25	0,3249	62,47	2,96	59,51	107,31	4,69	102,62	134,27	6,54	127,73

Tabela 15 - Estudo Econômico, abrigos M4 e M5.

ANO	Tarifa R\$/kWh	M4			M5		
		C _{ENG} (R\$)	CT (R\$)	Q (R\$)	C _{ENG} (R\$)	CT (R\$)	Q (R\$)
0			5.722,44	-5.722,44		3.454,56	-3.454,56
1	0,3111	205,48	16,67	188,81	102,74	8,33	94,41
2	0,3121	206,17	16,27	189,89	103,08	8,14	94,95
3	0,3126	206,53	1.943,86	-1.737,33	103,26	1.183,08	-1.079,82
4	0,3132	206,89	15,51	191,38	103,45	7,76	95,69
5	0,3137	207,25	15,15	192,10	103,63	7,57	96,05
6	0,3143	207,62	1.726,45	-1.518,84	103,81	1.050,69	-946,88
7	0,3148	207,98	14,44	193,54	103,99	7,22	96,77
8	0,3154	208,34	14,10	194,24	104,17	7,05	97,12
9	0,3159	208,71	1.497,47	-1.288,76	104,35	911,23	-806,88
10	0,3165	209,07	783,34	-574,26	104,54	776,62	-672,08
11	0,3170	209,44	13,12	196,32	104,72	6,56	98,16
12	0,3176	209,81	1.276,08	-1.066,28	104,90	776,40	-671,50
13	0,3182	210,17	12,51	197,66	105,09	6,25	98,83
14	0,3187	210,54	12,21	198,33	105,27	6,11	99,16
15	0,3193	210,91	1.072,64	-861,73	105,45	652,49	-547,04
16	0,3198	211,28	11,64	199,63	105,64	5,82	99,82
17	0,3204	211,65	11,37	200,28	105,82	5,68	100,14
18	0,3209	212,02	891,88	-679,86	106,01	542,40	-436,40
19	0,3215	212,39	10,84	201,55	106,19	5,42	100,78
20	0,3221	212,76	231,39	-18,63	106,38	226,10	-119,72
21	0,3226	213,13	735,07	-521,94	106,57	446,91	-340,34
22	0,3232	213,51	10,09	203,42	106,75	5,04	101,71
23	0,3238	213,88	9,85	204,03	106,94	4,92	102,02
24	0,3243	214,25	601,45	-387,20	107,13	365,55	-258,42
25	0,3249	214,63	9,39	205,24	107,31	4,69	102,62

O cálculo de viabilidade econômica para 25 anos resultou, para os cinco modelos de abrigo, valor presente líquido negativo, como mostra a Tab. 16. Isso significa que o retorno financeiro do projeto não existirá dentro desse período.

Tabela 16 - Valor Presente Líquido.

MODELO	M1	M2	M3	M4	M5
VPL (R\$)	-6.018,33	-7.474,87	-7.710,37	-11.420,85	-7.855,43

Este resultado deu-se por consequência da necessidade de armazenamento de energia. Como já foi mencionada na revisão de literatura a bateria é o equipamento que mais penaliza o sistema devido sua curta vida útil, exigindo maior número de substituições dentro do período cíclico do projeto, 25 anos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo objetivou projetar uma alternativa sustentável de geração de energia elétrica através do aproveitamento de radiação solar, no qual atendesse a demanda de cargas (portas USB e lâmpadas LED) de abrigos de pontos de ônibus da Av. Almirante Barroso, localizada na cidade de Belém do Pará, visando oferecer conforto e segurança nesses ambientes para os usuários de transportes públicos.

Os resultados da análise econômica evidenciaram o que já se esperava, que o projeto de implantação de sistema fotovoltaico autônomo, como alternativa de minimizar os custos, é economicamente deficitário dentro do período analisado, devido, principalmente, ao elevado custo de aquisição e número de trocas das baterias, que se fazem essenciais para a eficiência desse sistema. Porém, a sustentabilidade deve se fazer presente nos projetos tecnológicos atuais, buscando equilíbrio nos aspectos econômicos, ambientais e sociais. Sendo assim, este projeto atende a dois pilares desse tripé, o ambiental e o social, contribuindo para a melhora da qualidade de vida a longo prazo em um meio ambiente equilibrado para a presente e futuras gerações. Acrescente-se que, em que pese as necessárias trocas de baterias, a opção por um sistema fotovoltaico autônomo permite sua operação independentemente da rede elétrica da concessionária de energia elétrica local

Assim, o projeto é interessante, pois supre as necessidades sociais e ao mesmo tempo contribui para a minimização dos impactos ambientais gerados por outros meios de produção de energia elétrica, benefícios esses que

podem ser quantificados numericamente através de indicadores sociais como expectativa de vida, IDH, saúde, taxa de mortalidade, entre outros, que são consequências de investimentos que focam primeiramente a qualidade de vida da população.

O sistema proposto para os modelos de abrigo gera eletricidade suficiente para atender satisfatoriamente o consumo necessário de cada cenário estudado. Observa-se, a partir dos resultados de energia produzida, que o sistema fotovoltaico dimensionado, com base no mês de menor incidência de radiação solar, irá gerar um excedente de energia elétrica, que poderia, por exemplo, ser aproveitada para alimentar painéis informativos, os quais indicariam aos usuários quais as linhas de ônibus que parariam no ponto específico e seus respectivos horários. Sendo assim, este projeto pode servir de referência para estudos futuros a fim de reaproveitar essa energia, visando não só o benefício financeiro, mas também o ambiental e o social.

Outra possibilidade que vale a pena ser estudada, em relação ao objetivo deste trabalho, é o uso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, o que possivelmente diminuiria o custo inicial, devido a não aquisição de equipamentos de armazenamento, tornando mais atrativo o VPL e, minimizando os resíduos gerados pelos sistemas, já que não haveria baterias na composição destes.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, C. A. **Como dimensionar um gerador fotovoltaico com baterias**. [2015?]. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/files/Como-dimensionar-um-geradorfotovoltaico-com-baterias.pdf>>. Acessado em: 20 de Agosto, 2016.
- CARNEIRO, J. **Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos: Sistemas Ligados à Rede e Sistemas Autônomos**. PROJECTO INTERDISCIPLINAR II. Escola de Ciências Departamento de Física da Universidade de Minho - Braga, 2009.
- CREDER, H. **Instalações Elétricas**. Editora LTC, 13ª ed. 1995. p.187 – 213.
- MAIA, K. C. dos S. **Análise de desempenho de um sistema fotovoltaico domiciliar de pequeno porte operando com diferentes equipamentos**. 2015. 100 f, Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará. Belém, 2015. Cap, 4.
- MELO, E. G. **Geração solar fotovoltaica: estimativa do fator do sombreamento e irradiação em modelos tridimensionais de edificações**. Trabalho para obtenção do título de mestre. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – SP, 2012.
- PEREIRA, E. J. da S. et al. **Methodology of risk analysis by Monte Carlo Method applied to power generation with renewable energy**. *Renewable Energy: An International Journal*. Belém, v. 69, p.347-355. Setembro, 2014.
- SCHULZ, Willy. Série de Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar: **Illuminação Pública**. CREA-PR, 2016.
- SEGUEL, J. I. L. **Projeto de sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

PHOTOVOLTAIC SYSTEM DESIGN FOR BUS STOP SHELTERS AT AV. ALMIRANTE BARROSO, BELÉM – PARÁ.

ABSTRACT

The night lighting by solar source in bus stop shelters in Belém is projected not only to use renewable energy source, but also to provide comfort and security for users of public transportation. The exploitation of energy produced by this technology could be used to charge cell phone batteries that are used in work situations, emergency or leisure. This paper aims to design a photovoltaic system and study the technical and economic feasibility of electric power generation for bus stop shelters at Almirante Barroso Avenue, Belém - Pará. The lumens method was used for lighting calculation, followed by sizing the proposed system components for each bus stop shelter model. This system is composed of photovoltaic modules, charge controller, battery bank, photoelectric sensor, LED light fixtures and USB ports. For economic analysis, the Net Present Value (NPV) was used. The proposed system for each shelter model generates enough electricity to satisfactorily meet the required consumption of each scenario, generating an annual energy estimated of 192.28 kWh for the shelter model 1, 330.30 kWh for shelter model 2, 413, 27 kWh for shelter model 3, 660.61 kWh for shelter model 4 and 330.30 kWh for shelter model 5. However, the system is considered economically unfeasible for all shelter models, because there is not complete financial compensation of the investment within the life cycle time estimated initially for the project of 25 years. The benefits of safety and convenience are evident.

Keywords: renewable energy; photovoltaic lighting; off-grid system.