

METODOLOGIA DE PROJETO DE SISTEMAS AUTÔNOMOS FOTOVOLTAICOS DE ILUMINAÇÃO CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR AO LONGO DO ANO

Rafael H. Bandeira, Marco A. Dalla Costa, Leandro Michels, Renan D. de O. Reiter

Universidade Federal de Santa Maria

Av. Roraima, nº 1000, 97105-900 – Santa Maria – RS, Brasil.

rafaelbandeira@outlook.com, marcocd@gredre.ufsm.br, leandromichels@gmail.com, renandiego@gmail.com

Resumo— Este artigo apresenta um método para análise e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos autônomos aplicados em iluminação pública empregando lâmpadas LED. Dados diários de produção e de consumo são empregados para dimensionar com maior precisão o sistema que os obtidos por métodos baseados em médias mensais de irradiância. A determinação do consumo de energia diário foi obtida considerando-se a variação sazonal da duração dos dias ao longo do ano. A determinação de energia gerada pelo sistema considerou os diversos fatores que influenciam, como a irradiância e a temperatura ambiente. Para tanto se empregou os dados climatológicos fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para o dimensionamento do sistema. Uma estratégia de dimerização foi também proposta para reduzir o tamanho do banco de baterias necessário através de dimerização das lâmpadas em 30% e 50% da potência nominal. Resultados de simulação do sistema com o método de dimensionamento proposto foram obtidos e comparados com outras metodologias de projeto. Enquanto o método tradicional apresentou 125 dias de dimerização em 50% e 48 dias com a luminária dimerizada em 30%, o método proposto apresentou apenas 26 dias com dimerização em 50% da potência nominal e 2 dias com dimerização em 30%, demonstrando ser este mais adequado para dimensionar precisamente os elementos do sistema.

Palavras-chave— baterias, iluminação pública, LED, radiação solar, sistema fotovoltaico autônomo.

Abstract— This paper presents a method for the analysis and design of autonomous photovoltaic systems applied in public lighting using LED lamps. Daily production and consumption data are used to measure the system more accurately than those obtained by methods based on monthly average irradiance. The determination of the daily energy consumption was obtained considering the seasonal variation of the days duration throughout the year. The determination of energy generated by the system considered the various factors that influence, such as irradiance and ambient temperature. For this purpose, the climatological data provided by the National Institute of Meteorology (INMET) was used to design the system. A dimerization strategy was also proposed to reduce the size of the battery bank required by dimerizing the lamps by 30% and 50% of the nominal power. Results of simulation of the system with

the proposed design method were obtained and compared with other design methodologies. While the traditional method presented 125 days of dimerization in 50% and 48 days with the luminaire dimerized in 30%, the proposed method presented only 26 days with dimerization in 50% of the nominal power and 2 days with dimerization in 30%, demonstrating that this more suitable to precisely dimension the elements of the system.

Keywords— autonomous photovoltaic system, batteries, LED, public lighting, solar radiation.

I. INTRODUÇÃO

A rede viária brasileira possui aproximadamente 1,8 milhão de quilômetros de estradas e rodovias nacionais sendo a quarta maior do mundo[1]. A grande extensão viária, somada a um número elevado de veículos circulantes também faz com que ocorram altas taxas de acidentes, sendo que em muitos destes a falta de sinalização e baixa visibilidade na pista são fatores determinantes para que os mesmos ocorram[2]. Um bom sistema de iluminação das rodovias é essencial, principalmente em pontos críticos, como trevos e cruzamentos de vias. Estes pontos, em alguns casos, encontram-se isolados da rede de distribuição de energia tornando, dessa forma, necessário o uso de sistemas de iluminação autônomos.

A fonte de energia de sistemas de iluminação autônomos a ser utilizada deve apresentar mínima manutenção, elevada confiabilidade e uma boa relação custo-benefício se comparada com soluções convencionais, onde a alimentação provém de redes elétricas. Nessa aplicação os geradores a diesel não se mostram interessantes, tendo em vista que apresentam necessidade de manutenção periódica para reabastecimento de combustível e do seu sistema mecânico. Geradores fotovoltaicos e eólicos são alternativas mais atrativas [3], sendo que sistemas fotovoltaicos se sobressaem aos sistemas de geração eólica por apresentarem uma fonte presente em todos onde há significativa presença humana, além de apresentar mínima manutenção por não possuir partes móveis. Painéis solares fotovoltaicos possuem garantia de produção de 25 anos [4], comprovando a alta vida útil deste sistema. Outro fator que torna o painel solar atrativo é a geração em corrente contínua, que faz com que o sistema não necessite de inversores para o

acionamento de cargas em corrente contínua, tal como as lâmpadas LED.

Nessa aplicação, o uso de baterias é compulsório devido à intermitência da geração solar fotovoltaica e pela necessidade das lâmpadas operarem quando não há irradiação solar. Tanto as baterias quanto a geração necessitam de um dimensionamento preciso para garantir a adequada operação do sistema de iluminação. Convencionalmente, os sistemas autônomos fotovoltaicos utilizam de metodologias de dimensionamento dos módulos fotovoltaicos e bancos de baterias baseados em médias mensais de geração fotovoltaica [5]. Esta metodologia de projeto é simples, mas apresenta baixa precisão se comparada a uma análise de produção e consumo diários e ou horários do sistema.

Para obtenção de uma relação custo-benefício otimizada, é preciso que a área do sistema fotovoltaico, o banco de baterias e as lâmpadas sejam dimensionadas de forma precisa com relação às necessidades de cada local. Para tanto, este trabalho propõe uma metodologia de projeto do sistema baseado na análise da necessidade diária de consumo de energia e da probabilidade de geração de energia determinada com base em séries de dados climatológicos reais. Adicionalmente, como forma de diminuir o tamanho do sistema, também é proposta uma estratégia de dimerização da lâmpada LED. Por fim, o método para o dimensionamento das cargas painel solar e bateria propostas neste trabalho é comparado com um método convencional de dimensionamento de sistemas autônomos fotovoltaicos [5].

II. ANÁLISE DOS DADOS PARA DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

A. Sistemas fotovoltaicos autônomos de iluminação

Um sistema fotovoltaico autônomo de iluminação aplicado em rodovias e praças, consiste em armazenar energia durante os períodos em que há luz solar disponível para utilizar nos momentos de ausência da mesma. A estrutura típica dos sistemas autônomos de iluminação pública a LED é mostrada na figura 1 [3]. Nesta configuração todo o sistema trabalha em corrente contínua (CC) em baixa tensão, o que possibilita a utilização de conversores. Durante as análises efetuadas neste trabalho é considerado como carga uma luminária LED de 60W. Nestes sistemas o uso de uma luminária LED é justificado por sua elevada vida útil, elevada eficiência luminosa e alimentação em corrente contínua de baixa tensão [3].

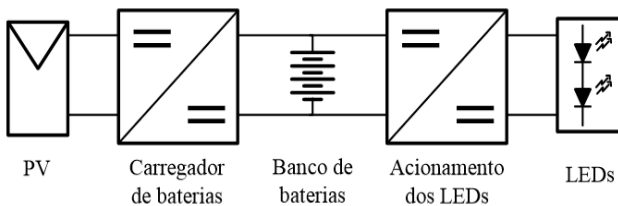


Fig. 1. Sistema fotovoltaico autônomo de iluminação.

Visando manter as vantagens apresentadas para a carga e fonte de energia, baterias de íons de lítio são recomendadas

para esta aplicação [6] [7]. Quando comparadas a outras tecnologias como Chumbo e Níquel Cádmio, as baterias de lítio apresentam elevada densidade de energia, elevada eficiência no processo de carga e descarga, não apresentam efeito memória, demandam mínima manutenção e, principalmente, podem ser carregadas mais rapidamente [8]. Esse último fator é fundamental para o melhor aproveitamento do conjunto painel-bateria.

B. Análise do consumo da luminária

Incluindo as perdas de conversão, considera-se como carga uma potência de 75W. Para tanto, é considerado um rendimento do sistema de 80%, que incluem perdas de cabeamento, do carregador das baterias, da carga e descarga das baterias e do circuito de acionamento dos LEDs [3].

Métodos convencionais de dimensionamento consideram que a autonomia de sistemas fotovoltaicos é baseada na média anual de horas noturnas (12 horas) multiplicadas pelo número de dias de autonomia desejados [3]. Esta metodologia desconsidera a variabilidade do período noturno durante o ano, o que resulta em imprecisão, principalmente em locais com latitudes altas.

Neste estudo, para o dimensionamento do consumo do sistema, baseou-se nas horas de noite (T_n) de cada dia do ano (dn), onde dn representa o número do dia de interesse no ano (sendo 1 para 1º/jan. e 365 para 31/dez.) [9].

$$T_n(dn) = 24 - T_d(dn) \quad (1)$$

$$T_d = \frac{2}{15} * \arccos(\min(\max(-\tan(\phi) * \tan(\delta), -1), 1)) \quad (2)$$

- ϕ é a latitude do local.
- δ é a declinação solar do local na data de interesse.

$$\delta = 23,45 * \sin\left(\frac{360}{365} * (284 - dn)\right) \quad (3)$$

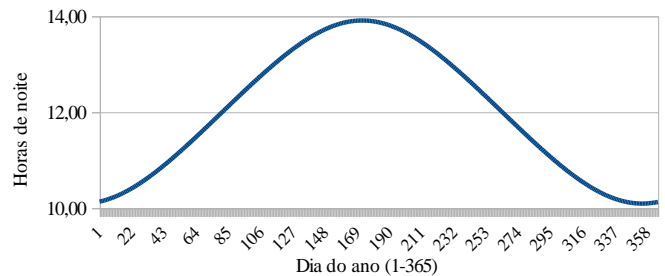


Fig. 2. Horas de noite para cada dia do ano.

A figura 2 apresenta a variação das horas no decorrer do ano para a cidade de Santa Maria, RS. Observa-se que as horas de autonomia do sistema variam durante o ano de aproximadamente 10 horas e 5 minutos no solstício de verão a 13 horas e 55 minutos no solstício de inverno. Assim além da produção ser menor para o inverno devido a menor radiação e maior período de horas de noite, o consumo é aproximadamente 30% maior que no solstício de verão. A partir dessa análise

proposta obtém-se o valor de consumo para cada dia, que é empregado para o dimensionamento da carga.

C. Previsão da produção de energia elétrica

Uma vez determinado o consumo do sistema analisado dia-a-dia do ano, o próximo passo do método de dimensionamento proposto foi utilizar os dados de irradiância, temperatura e velocidade dos ventos para cada hora do dia, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Meteorologia (INMET) [10], para se definir a irradiância solar incidente sobre o painel solar além da temperatura do painel e assim a produção diária possível de energia.

Para encontrar a radiação incidente sobre qualquer ponto da esfera terrestre em um horário específico, deve-se considerar primeiramente as componentes da radiação incidente:

- Radiação direta: proveniente diretamente do Sol sem sofrer influência de obstáculos.
- Radiação difusa: que passa por um obstáculo e chega ao painel solar a partir de difusão.
- Radiação refletida: refletida do ambiente atingindo o painel.

Somadas, estas resultam na radiação total. Para determinar estas componentes, inicialmente é necessário determinar a radiação extraterrestre no ponto desejado.

A radiação extraterrestre pode ser encontrada a partir do dia do ano e do ângulo zenital (θ_z) o que determina a posição do Sol em relação ao plano vertical.

Para encontrar o ângulo zenital foi utilizada a declinação solar do local (δ), obtida em (2), que corresponde a distância dos raios solares em relação ao plano da linha do equador e calculado o ângulo zenital do Sol (ω), ou seja, o ângulo do Sol em relação ao meridiano local [11].

$$\omega = 15(lst - 12) \quad (4)$$

$$lst = hl + (1/15)[-GMT - (-\sigma)] + E + dt \quad (5)$$

$$E = 0,165sen(2B) - 0,126cos(B) - 0,025sen(B) \quad (6)$$

$$B = 360 \left(\frac{dn - 81}{364} \right) \quad (7)$$

$$\theta_z = \arccos[sen(\delta)sen(\phi) + cos(\delta)cos(\phi)cos(\omega)] \quad (8)$$

$$i_0 = 1367E_0cos(\theta_z) \quad (9)$$

$$E_0 = 1,00011 + (0,034221 + 0,00128 + 0,000719)cos(\Gamma) + 0,000077sen(2\Gamma) \quad (10)$$

$$\Gamma = 2\pi \left(\frac{dn - 1}{365,242} \right) \quad (11)$$

Entretanto, somente uma parte da radiação extraterrestre atinge a superfície. Uma vez conhecida a radiação extraterrestre, e com dados de radiação solar na horizontal em um determinado horário (i), é possível estimar a radiação direta

e difusa incidente na superfície calculando-se o índice de limpeza atmosférica (k_t).

$$k_t = \frac{i}{i_0} \quad (12)$$

As radiações difusa (i_{dif}) e direta (i_{dir}) no plano horizontal são definidas por:

$$i_{dif} = \begin{cases} (0,995 - 0,08k_t)i & , k_t < 0,35 \\ \left(0,724 + 2,738k_t - 8,32k_t^2 + 4,967k_t^3 \right) i_0,35 & k_t < 0,7 \\ 0,06i & , k_t > 0,7 \end{cases} \quad (13)$$

$$i_{dir} = i - i_{dif} \quad (14)$$

Posteriormente, deve-se obter o azimute solar (γ_z), o azimute do módulo fotovoltaico (γ_{pv}) e o ângulo de incidência solar sobre o módulo (θ), demonstrados na figura 3. Com estas informações podem ser estimadas as irradiâncias difusa, direta e refletida incidentes sobre o módulo fotovoltaico.

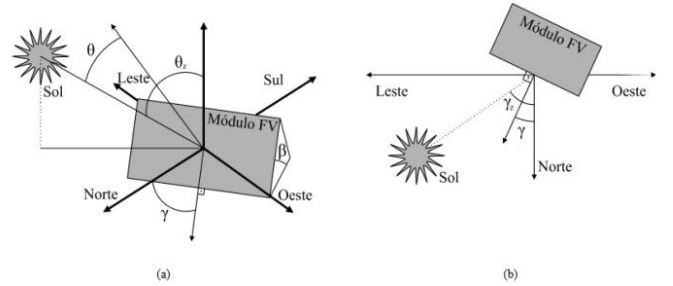


Fig. 3. Representação Gráfica (a) Visão isométrica. (b) Visão superior. [11]

$$\gamma_z = \begin{cases} -\arccos\left(\frac{\cos(\theta_z)}{\cos(\alpha)}\right) & , \omega < 0 \\ \arccos\left(\frac{\cos(\theta_z)}{\cos(\alpha)}\right) & , \omega 0 \end{cases} \quad (15)$$

$$\alpha = 90^\circ - \theta_z \quad (16)$$

$$\gamma_{pv} = \begin{cases} \gamma - 180^\circ & , \gamma > 0 \\ \gamma + 180^\circ & , \gamma 0 \end{cases} \quad (17)$$

Considerando γ o desvio azimutal do módulo (0° para norte, 90° para leste, 180° para sul e -90° oeste).

$$\theta = \arccos[cos(\alpha)cos(|\gamma_z - \gamma_{pv}|)sen(\beta) + sen(\alpha)cos(\beta)] \quad (18)$$

Assim, estima-se a irradiância direta incidente sobre o módulo fotovoltaico ($i_{dir\ pv}$) a partir do fator de correção geométrica (r_b) e do fator de reflexão dos módulos (f_{rfl}), considerando o coeficiente de reflexão do vidro do painel fotovoltaico (b_0) como 0,05 [11].

$$i_{dir\ pv} = i_{dir} r_b f_{rfl} \quad (19)$$

$$rb = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_z)} \quad (20)$$

$$f_{rfl} = 1 - b_0 \left[\frac{1}{\cos(\theta)} - 1 \right] \quad (21)$$

Também se obtém a radiação difusa ($i_{dif\ pv}$) e refletida ($i_{rfl\ pv}$) sobre o módulo fotovoltaico. Considerando um albedo (ρ) médio de 0,3 para a radiação refletida [11].

$$i_{dif\ pv} = 0,5i[1 + \cos(\beta)] \quad (22)$$

$$i_{rfl\ pv} = 0,5i\rho[1 - \cos(\beta)] \quad (23)$$

Assim obtém-se a irradiância total incidente sobre o módulo fotovoltaico (i_{pv}).

$$i_{pv} = i_{dir\ pv} + i_{dif\ pv} + i_{rfl\ pv} \quad (24)$$

Ao fazer a análise de produção de energia de painéis solares, faz-se necessário o estudo da temperatura do painel (t_{pv}), sendo que este apresenta variações consideráveis de rendimento devido à sua temperatura de operação [4]. t_{amb} é a temperatura ambiente e v_{vto} é a velocidade do vento.

$$t_{pv} = 0,943t_{amb} + 0,028i_{pv} - 1,582v_{vto} + 4,3 \quad (25)$$

Dessa forma, pode-se estimar a potência gerada no módulo fotovoltaico (p_{pv}). Em (28) observa-se a estimativa de potência levando em consideração a irradiância total (i_{pv}), eficiência do módulo (η_{pv}), área do módulo (A_{pv}) e coeficiente de temperatura (K_{pv}).

$$p_{pv} = i_{pv}\eta_{pv}A_{pv}(1 - K_{pv}(t_{pv} - 25)) \quad (26)$$

$$\eta_{pv} = \frac{i_{mppt}v_{mppt}}{1000A_{pv}} \quad (27)$$

Com base no método apresentado de cálculo da produção de energia média por hora e o consumo para cada dia do ano, é possível realizar o dimensionamento do sistema. O método de análise apresentado foi testado em [11] e apresentou erros abaixo de 5%, o que o torna adequado para esta aplicação.

Esta análise feita a cada hora aumenta de forma significativa a precisão dos dados quando comparado ao método tradicionalmente adotado[3][5].

III. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO DO ESTUDO

O estudo demonstrado no capítulo II deste artigo possibilitou o dimensionamento de um sistema autônomo fotovoltaico de iluminação, elaborado para a cidade de Santa Maria-RS, a partir dos dados de irradiância, temperatura ambiente e velocidade dos ventos disponibilizados no INMET

para o intervalo de um ano no período de 26 de Maio de 2016 a 25 de Maio de 2017.

A. Dimensionamento da carga

Conforme apresentado na figura 2 a variação de tempo de noite acarreta na alternância de consumo (C_{lamp}) ao longo do ano. No sistema a ser dimensionado, a carga é uma lâmpada de 60W e o sistema possui um rendimento de 80% encontrou-se a partir de (28) e (29) uma variação de aproximadamente 756Wh até 1043Wh de consumo diário.

$$C_{lamp\ min} = \frac{Pot * horas}{Rendimento} = \frac{60W * 10,09h}{0,8} = 756,75 Wh \quad (28)$$

$$C_{lamp\ max} = \frac{Pot * horas}{Rendimento} = \frac{60W * 13,9h}{0,8} = 1043,25 Wh \quad (29)$$

Na análise do dimensionamento foram utilizados os consumos de cada dia acompanhando o comportamento das horas noturnas, apresentadas na figura 2.

B. Dimensionamento do painel fotovoltaico

O dimensionamento do painel solar foi realizado a partir da sobreposição das informações de produção e consumo em cada dia do ano. Assim, foi realizado um balanço diário e contabilizados os dias em que a produção é maior que o consumo, obtendo-se o gráfico da figura 4.

Na figura 4, é demonstrado o número de dias em que a produção do sistema é superior ao consumo, relacionado a potência de geração do painel. Nota-se que para potências menores que 600Wp há um decréscimo considerável dos dias em que a energia gerada é maior que a consumida. A partir deste ponto o ganho de aumento de potência instalada é mínimo, diminuindo o custo-benefício da utilização de painéis maiores.

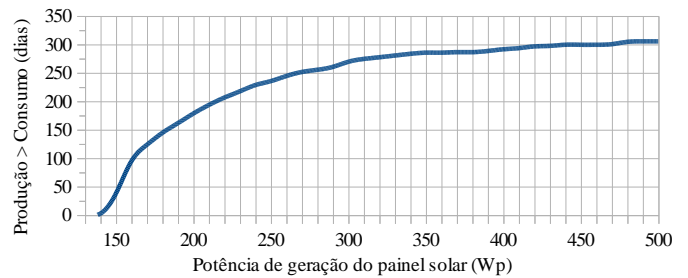


Fig. 4. Influência na potência instalada em relação aos dias com produção maior que o consumo.

A potência de painéis dimensionada foi de 640 Wp, sendo possível pela combinação de dois painéis de 320Wp. Assim, em 75% dos dias a produção será maior que o consumo, possibilitando a recarga plena do banco de baterias. Observou-se que, para valores de potência acima do escolhido, o ganho em dias de maior produção não seria significativo.

Estes painéis deverão ser postos a 50° direcionados para o Norte. Esta característica garantirá maior produção nos meses de inverno, que possuem maior consumo e menor irradiação.

C. Dimerização do sistema

Apesar da potência instalada de painéis fornecer energia suficiente na maior parte do tempo, em períodos com vários dias consecutivos de chuva o sistema não consegue recarregar o banco de baterias em tempo. Isto pode ser visto na figura 5 ao se analisar o funcionamento no mês de Julho de 2016. Assim o banco de baterias necessário teria de ser superdimensionado, considerando exclusivamente casos críticos, o que penaliza a relação custo-benefício do sistema.

Isso pode ser visto na figura 5 ao se analisar o funcionamento no mês de Julho de 2016. Observa-se na figura 5 os dados para um período de 12 dias, indicado em vermelho, onde em apenas 3 a produção é maior que o consumo. Assim, o banco de baterias necessário teria de ser superdimensionado, considerando exclusivamente um caso crítico. O que acarretaria em alto custo do sistema.

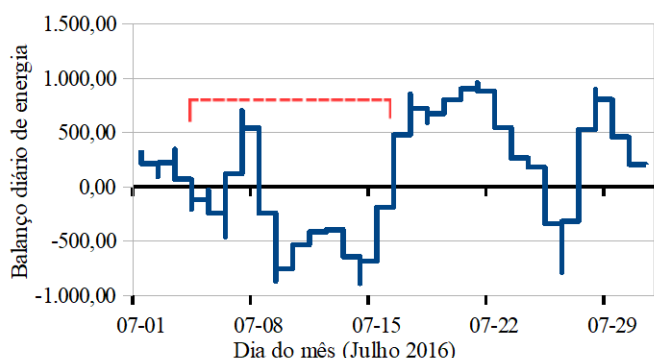


Fig. 5. Balanço diário de energia para o sistema dimensionado em Julho/2016

Para contornar este problema foi adotada uma estratégia de dimerização da carga, considerando que mesmo em períodos chuvosos há uma produção mínima de energia, e esta produção gira em torno de 30% da produção de um dia ensolarado. Assim, a menor dimerização empregada neste projeto será de 30% da Potência nominal.

A estratégia de dimerização adotada se dará a partir da análise da carga da bateria, onde:

- Quando a bateria estiver totalmente carregada, a lâmpada não é dimerizada.
- Quando a carga da bateria estiver abaixo dos 50% a lâmpada é dimerizada em 50% da sua potência nominal (PN).
- Quando o estado de carga de bateria estiver abaixo dos 30%, a lâmpada é dimerizada em 30%, priorizando mantê-la acesa, mesmo com iluminação mínima.

D. Dimensionamento do banco de baterias

Para dimensionar o banco de baterias desta aplicação, foi elaborado um algoritmo de sobreposição de consumo e produção para todos os dias do ano. A partir deste, foi possível verificar o quanto se fez necessária a dimerização para diversos tamanhos de bateria. Assim se obteve o gráfico da figura 6, a partir do qual foi escolhido o banco de baterias.

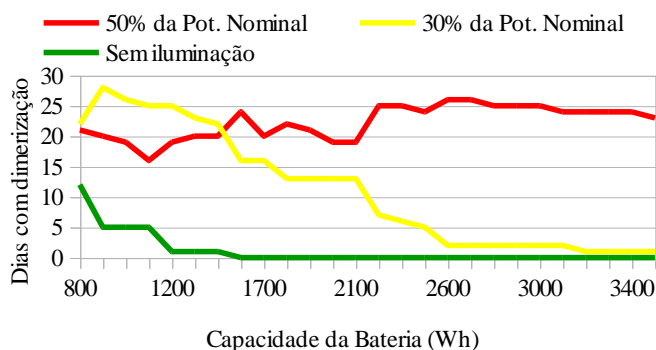


Fig. 6. Dimerização de acordo com o tamanho do banco de baterias utilizado.

Neste gráfico é apresentado o número de ocorrências de cada nível de dimerização da lâmpada em relação ao tamanho da bateria escolhido. Sendo que os níveis de 30% e 50% da PN representam a dimerização adotada neste estudo e o indicativo de sem iluminação representa ocorrências em que a lâmpada não terá energia suficiente e ficará apagada por um período.

Observa-se que baterias maiores que 1,6 kWh, conseguem suprir o sistema com dimerização sem que a lâmpada se apague em nenhum momento. Outro ponto importante de ser destacado é que para baterias acima de 2,6 kWh o sistema apresentou apenas 2 dias com dimerização a 30% da PN. Assim sendo, o banco de baterias pode ser dimensionado visando menor custo ou, melhor qualidade da iluminação.

Caso a dimerização a 30% da PN não fosse desejada, seria necessário um banco de baterias com capacidade de armazenar 3,7 kWh de energia. Já para que não houvesse dimerização a 50% da PN no período estudado o banco de baterias necessitaria de 13,4 kWh de capacidade de armazenamento. Estes dados são obtidos a partir de extrapolação do gráfico da figura 6. Neste estudo é considerado o uso de um banco de baterias de 2,6 kWh.

IV. ANÁLISE DO MÉTODO PROPOSTO

A partir dos resultados obtidos utilizando o método de dimensionamento do sistema proposto, tem-se uma fonte geradora de 640 Wp e um banco de baterias de 2,6 kWh. Ao fazer a análise deste mesmo sistema a partir do método tradicional de dimensionamento [5], a potência da fonte geradora foi de 320 Wp, para um banco de baterias de 3,2 kWh, com autonomia de 3 dias desconsiderando a dimerização.

Comparando-se o custo dos dois sistemas, nota-se que não há uma alteração significativa nos valores. Considerando-se a vida útil de ambos [4] [7], o custo dos painéis é similar ao custo de 600Wh de baterias de lítio [15] [16], ao considerar a vida útil de ambos [4] [7]. Entretanto, mesmo que utilizando a mesma estratégia de dimerização, proposta neste trabalho, pode-se verificar pela tabela que o sistema dimensionado pelo método proposto resulta em menos horários operando com dimerização.

Tabela 1: COMPARATIVO ENTRE DIMENSIONAMENTOS POR SISTEMA TRADICIONAL E PROPOSTO

Dimerização	50% da PN	30% da PN	Lâmpada apagada
Sistema tradicional [5]	125 dias	48 dias	Nenhum dia
Sistema Proposto	26 dias	2 dias	Nenhum dia

V. CONCLUSÃO

O método de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos de iluminação apresentado neste artigo, destaca-se por ser mais abrangente ao analisar ciclos diários de carga e descarga. Isso pode ser observado na análise comparativa dos métodos de dimensionamento, onde a metodologia proposta possui maior eficiência de dimerização com custos similares. Apesar de trabalhar com um número maior de informações, quando comparado a outros métodos de dimensionamento, o método proposto disponibiliza gráficos que viabilizam ao projetista analisar o comportamento do sistema para o tamanho de bateria e painel adotados. Assim, o projeto pode ser realizado de forma dinâmica, além de possibilitar facilmente desenvolver o sistema em relação aos custos sendo esta a principal contribuição desta metodologia. O estudo apresentado é passível de ampliação, onde podem ser analisadas, além de outros métodos de dimerização, características específicas, como qualidade da iluminação, custos, material utilizado, dentre outros, abrindo campo para pesquisas futuras.

VI. REFERÊNCIAS

[1] CIA WORLD FACTBOOK, Disponível em: <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/br.html>>, acesso em: 20 mai. 2017.

[2] Chagas D. M., ESTUDO SOBRE FATORES CONTRIBUINTES DE ACIDENTES DE TRÂNSITO URBANO. 2011. 114p. Dissertação

(Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.

[3] Schuch L., Dalla Costa M. A., Rech C., Michels L., Costa G. H., Santos A. S. “Sistema Autônomo de Iluminação Pública de Alta Eficiência Baseado em Energia Solar e LEDs” *Eletrôn. Potên., Campinas*, v. 16, n. 1, p.17-27, dez. 2010/fev. 2011

[4] PAINEL SOLAR MAXPOWER DATASHEET, Disponível em: <<https://www.canadiansolar.com>>, acesso em: 10 de jun. 2017

[5] Imhoff J., Hey H. L. DESENVOLVIMENTO DE CONVERSORES ESTÁTICOS PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS 2007. 145p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

[6] Perez, F. INSERÇÃO E CONTROLE DE ARMAZENADORES DE ENERGIA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA. 2015. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2015.

[7] Buchmann I., *SAFETY OF LITHIUM-ION BATTERIES*, *Battery University*. Disponível em <http://batteryuniversity.com/learn/article/safety_of_lithium_ion_batteries>. Acesso em: 08 de mar. 2016.

[8] DRESCH R. de F. V. MÉTODO DE ANÁLISE DO ESTADO DE CARGA RESTANTE DE BATERIAS DE CELULAR. 2010. Projeto de diplomação (Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2010.

[9] Borges R. C. de M., CÁLCULO DO NASCER E PÔR DO SOL, Instituto de Informática – UFRGS, Disponível em: <http://www.inf.ufrgs.br/>, acesso em: 02 de jun. 2017.

[10] DADOS METEOROLÓGICOS DE SANTA MARIA-RS. Estação Meteorológica de Santa Maria-RS.. disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 1 de mar. 2017.

[11] Reiter R. D. de O. ANÁLISE E PROJETO DE CONVERSORES ESTÁTICOS PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARCIALMENTE SOMBREADOS. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Santa Maria, RS, 2016.

[12] INSERÇÃO DAS ENERGIAS ALTERNATIVAS RENOVÁVEIS NO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO, 3º Fórum Brasileiro de Energia Elétrica, 2003.

[13] Marcelino R. P. M., CONTROLO DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BARRAMENTO CC. 2013. 57p. Dissertação (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.

[14] POTENCIAL SOLAR – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE S. BRITO, Disponível em: <www.cresesb.cepel.br/sundatn.htm>, Acesso em: 30 de mai. 2017.

[15] *BATTERIES IN INDUSTRIES*, *Battery University*, disponível em : <http://batteryuniversity.com/learn/article/batteries_for_medical_consumer_hobbyist>, acesso em: 25 de mai. 2017.

[16] *COST OF MOBILE AND RENEWABLE POWER*, *Battery University*. Disponível em: <http://batteryuniversity.com/learn/article/bu_1006_cost_of_mobile_power>, acesso em: 25 de mai. 2017.