

## **DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÔNOMO PARA ALIMENTAR UM SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO EM TEMPO REAL (RTLS)**

**João Pedro Reis**

Graduando em Engenharia Elétrica,  
Faculdades Integradas de Três Lagoas – (FITL/AEMS)

**Luiz Henrique Carrenho**

Graduando em Engenharia Elétrica,  
Faculdades Integradas de Três Lagoas – (FITL/AEMS)

**Thiago Pereira Bonfim**

Graduando em Engenharia Elétrica,  
Faculdades Integradas de Três Lagoas – (FITL/AEMS)

**Weslin Keven Savaris**

Engenheiro Eletricista – UNESP; Mestrando em Engenharia Elétrica – UNESP;  
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

### **RESUMO**

A demanda crescente no consumo de energia motiva a busca por fontes alternativas. A notável presença de painéis solares na paisagem urbana e rural em todo território Brasileiro, comprova o crescimento neste setor, a energia solar que há pouco tempo atrás era utilizada para aquecer água, passa a gerar energia elétrica. Seguindo a tendência de escolha por esta alternativa de geração, opta-se por alimentar através de um sistema fotovoltaico autônomo, um sistema RTLS, que funciona como GPS local para aprimorar o trabalho de maquinários. Fatores técnicos e naturais devem ser levados em consideração para perfeito dimensionamento do conjunto gerador de energia solar e obtenção de maior qualidade na energia elétrica entregue.

**PALAVRAS-CHAVE:** energia solar; sistema fotovoltaico autônomo; dimensionamento; sistema RTLS.

### **1 INTRODUÇÃO**

O uso de placas solares para geração de energia elétrica tem notavelmente se intensificado nos últimos anos. A captação dos raios solares através de tais placas propicia o uso da energia elétrica no desenvolvimento de diversas áreas, entre elas a agrícola.

Os sistemas de geração de matriz solar podem ser do tipo em rede (conectados) ou isolados.

Sistemas conectados à rede (*grid-tie*) dependem do incremento de energia para o abastecimento dos equipamentos e ele conectados.

Sistemas isolados (*off-grid*) ou autônomos não dependem de fontes externas para complementar a energia necessária para prover os equipamentos alimentados.

Um exemplo da utilização de um sistema fotovoltaico autônomo é a aplicação no sistema de localização de máquinas que fazem curvas de nível, plantação e colheita na área agrícola, a tecnologia da energia solar oferece confiabilidade a um custo competitivo, vindo se somar a novas tecnologias de sistemas de posicionamento global GPS que melhoram os resultados na produção agrícola. Para atender a demanda de energia estes aparelhos devem ser dimensionados, levando em consideração fatores técnicos e naturais para seu perfeito funcionamento, pois não pode haver falta energia para o equipamento mesmo em dias chuvosos ou com pouca intensidade de raios solares.

### **1.1 Energia Solar Fotovoltaica**

É a energia obtida através da conversão de raios solares em energia elétrica. A unidade onde ocorre este processo denomina-se célula voltaica, que é constituída de material semicondutor, composta por silício ou outro material semicondutor (GALDINO, 2014).

### **1.2 Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**

Esse tipo de sistema, apenas utiliza a energia solar para geração de energia elétrica, não possui outras fontes, ele trabalha de forma independente, ou seja, ele não tem ligação com a rede de distribuição de eletricidade através das concessionárias. Isso que difere ele do sistema convencional (DI SOUZA, 2016).

#### **1.2.1 Sistemas Autônomos com Armazenamento**

Esse tipo de sistema utiliza baterias para armazenar energia e ser usada nos períodos sem incidência de raios solares. As baterias são dimensionadas conforme a autonomia do sistema e os fatores climáticos do ambiente onde será instalado o sistema fotovoltaico.

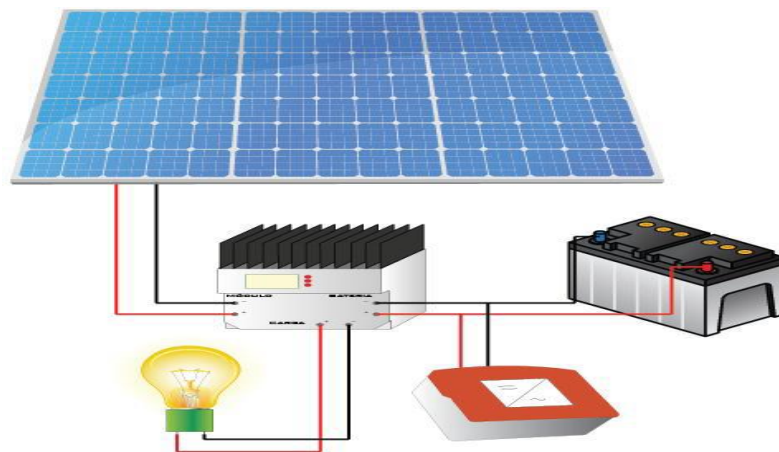
#### **1.2.2 Componentes do Sistema Fotovoltaico Autônomo**

Dentre os componentes do sistema fotovoltaico autônomo incluem-se (i) painel fotovoltaico (responsável por captar energia solar e convertê-la em elétrica); (ii) controlador de carga/descarga das baterias (principal função – controlar a energia

elétrica de entrada e saída da bateria); (iii) banco de baterias (equipamento destinado a armazenar energia elétrica gerada pelo painel fotovoltaico e liberar quando necessário); (iv) inversor autônomo, para cargas em CA (converte a energia de corrente contínua de saída da bateria em corrente alternada para ser usada na carga) e (v) cargas CC ou CA (são as cargas que vão ser alimentadas pela energia elétrica, que pode ser tanto cargas de corrente contínua quanto cargas de corrente alternada).

A Figura 1 mostra os componentes de um sistema fotovoltaico autônomo.

**Figura 1. Componentes do sistema fotovoltaico autônomo.**



Fonte: Extraído de BLUESOL, 2016.

### 1.3 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico Autônomo

A Tabela 1 mostra diferentes modelos de baterias e suas respectivas capacidades, em diferentes regimes de descarga. É definido como, capacidade em Ampere-hora (Ah); o produto da corrente, em Ampere, pelo tempo em hora, corrigido para a temperatura de referência, fornecido pelo acumulador em determinado regime de descarga, até atingir a tensão final de descarga estabelecida. (FREEDOM, 2008).

Devido ao projeto pertencer ao município de Ilha Solteira (SP) e estar distante de um raio máximo de que 60 km da localização geográfica da cidade de Três Lagoas (MS) fez-se necessário o uso de seus valores de irradiação solar diária média, conforme a Tabela 2, para os cálculos do projeto. As medições da irradiação solar na superfície terrestre são da maior importância para o estudo da influência das condições atmosféricas nas componentes diretas da radiação solar (CRESESB, 2018).

**Tabela 1. Modelos de baterias e suas respectivas capacidades em ampère-hora (Ah) em diferentes regimes de descarga com tensão final de 10,5 V (25 °C).**

Modelo	HORAS																MINUTOS		
	100hs	20hs	10hs	9hs	8hs	7hs	6hs	5hs	4,5hs	4hs	3,5hs	3hs	2,5hs	2hs	1,5hs	1h	45'	30'	15'
DF300	30,0	26,0	24,0	23,8	23,5	23,1	22,8	22,0	21,9	21,6	21,0	21,0	20,5	20,0	19,2	18,0	15,8	12,5	10,0
DF500	40,0	36,0	30,0	29,9	29,8	29,7	29,4	28,8	27,7	27,0	26,6	25,8	24,8	24,0	22,5	20,0	19,0	16,5	13,0
DF700	50,0	45,0	41,0	40,5	40,0	39,5	39,2	37,5	37,1	36,8	35,0	34,5	34,0	32,5	31,5	27,0	24,0	21,5	16,3
DF1000	70,0	60,0	54,0	51,8	51,6	51,1	49,2	49,0	47,3	46,0	43,8	43,5	42,5	38,0	37,8	35,0	31,9	27,5	21,0
DF2000	115,0	105,0	94,0	92,0	91,8	91,0	87,0	85,0	82,8	81,2	79,1	75,0	73,8	69,0	66,0	60,0	56,3	48,0	37,5
DF2500	165,0	150,0	130,0	129,8	129,6	126,0	120,0	115,0	112,5	112,0	108,5	102,0	100,0	94,0	87,0	81,0	74,3	65,0	50,0
DF3000	185,0	170,0	156,0	153,0	152,0	150,0	148,2	140,0	135,0	132,0	126,0	123,0	120,0	114,0	108,0	95,0	84,0	76,0	57,8
DF4001	240,0	220,0	200,0	193,5	192,0	185,5	180,0	175,0	171,0	166,0	161,0	156,0	150,0	144,0	135,0	120,0	108,8	95,5	72,0

Fonte: Extraído de FREEDROM, 2008.

**Tabela 2: Radiação diária média mensal para Ilha Solteira- SP**

Localidades próximas

Latitude: 20,440694° S  
Longitude: 51,351333° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m <sup>2</sup> .dia]													Média	Delta		
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out			Nov	Dez
✓	Tres Lagoas	Três Lagoas	MS	BRA	20,7° S	51,697083° O	46,2	5,61	5,89	5,56	4,56	4,08	3,72	4,39	4,56	4,72	5,72	5,72	5,58	5,01	2,17
✓	Paranaíba	Paranaíba	MS	BRA	19,7° S	51,190833° O	84,1	5,47	5,56	5,39	4,72	4,50	3,97	4,53	4,81	4,81	5,72	5,92	5,56	5,08	1,95
✓	Araçatuba	Araçatuba	SP	BRA	21,2° S	50,432777° O	127,6	5,83	5,56	5,47	4,89	4,39	3,86	4,31	4,81	4,83	5,83	5,83	5,69	5,11	1,97

Fonte: Extraído de CRESESB, 2018.

A Tabela 3 apresenta o fator k para latitude 25°, conforme a inclinação, o valor de K para superfícies inclinadas, relativos de janeiro-dezembro (BLUESOL, 2018).

**Tabela 3: Fator de correção k para superfícies inclinadas para latitude 25°.**

	INC.	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
20 0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20 5	5	0,99	1,01	1,02	1,04	1,05	1,05	1,04	1,03	1,02	1	0,99	0,99
20 10	10	0,98	1	1,04	1,07	1,09	1,09	1,08	1,06	1,03	1	0,98	0,97
20 15	15	0,96	0,99	1,04	1,1	1,13	1,13	1,11	1,08	1,04	0,99	0,96	0,95
20 20	20	0,93	0,98	1,05	1,11	1,16	1,16	1,13	1,09	1,04	0,98	0,93	0,91
20 25	25	0,9	0,96	1,04	1,12	1,18	1,18	1,15	1,1	1,03	0,96	0,9	0,88
20 30	30	0,86	0,93	1,03	1,13	1,19	1,2	1,16	1,1	1,01	0,93	0,86	0,83
20 35	35	0,81	0,89	1	1,12	1,2	1,2	1,16	1,09	0,99	0,89	0,81	0,78

Fonte: Extraído de BLUESOL, 2018.

**Tabela 4: Valores da radiação solar em kWh/m<sup>2</sup>. dia-1**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
HSP	5,61	5,89	5,56	4,56	4,08	3,72	4,39	4,56	4,72	5,72	5,72	5,58
K	0,9	0,96	1,04	1,12	1,18	1,18	1,15	1,1	1,03	0,96	0,9	0,88
HSPk	5,04	5,65	5,78	5,10	4,81	4,38	5,04	5,01	4,86	5,49	5,14	4,91

Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao se analisar os fatores K de correção de radiação solar na Tabela 4 abaixo, notou-se que os valores HSPK, são menores que HSP no verão, porém nas outras estações do ano, mais precisamente entre março a setembro há um ganho de radiação vantajoso (CRESESB, 2000).

A Tabela 5 apresenta as características como tensão, corrente, temperatura e eficiência do Modulo STP135-12 / TEA, Suntech Power. Apresentadas no catalogo de apresentação “Produto fabricado nas normas ISO9001 e ISO1400” (NEOSOLARENERGIA, 2018).

**Tabela 5. Característica elétrica do módulo fotovoltaico.**

STP	135D-12/TEA
Tensão de funcionamento óptima (Vmp)	17,5 V
Corrente de funcionamento óptima (Imp)	7,71 A
Tensão em circuito aberto (Voc)	22,3 V
Corrente de curto-circuito (Isc)	8,20 A
Potência máxima (Pmax) em condições de teste padrão (STC)	135 W
Eficiência do módulo	13.47%
Temperatura de funcionamento do módulo	-40 °C a +85 °C
Tensão máxima do sistema	1000 V DC
Corrente máxima por fusíveis em série	20 A
Tolerância de potência	0/+5 %

STC: Irradiação de 1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura do módulo de 25 °C, AM=1,5;  
Tolerância de medição de potência: ± 3%

**Fonte:** Extraído de NEOSOLARENERGIA, 2018.

O aquecimento da célula é inerente as condições de funcionamento, a tabela (6) apresenta valores em torno das condições nominais. “O Modulo 135D-12/TEA possui de alta eficiência de conversão 13,5%, a tolerância positiva que assegura potência de saída 0-5%, e redução de perdas de até 2%” (NEOSOLARENERGIA 2018, p 2).

**Tabela 6. Características de Temperatura**

Temperatura nominal de funcionamento da célula (NOCT)	45 ± 2 °C
Coefficiente de temperatura da Pmax	-0,470%/ °C
Coefficiente de temperatura da Voc	-0,340%/ °C
Coefficiente de temperatura da Isc	0,045%/ °C

**Fonte:** Extraído de NEOSOLARENERGIA, 2018.

A Tabela 7 mostra as temperaturas máximas e mínimas médias e as precipitações médias mensais durante um ano.

**Tabela 7. Temperatura e precipitação média de Ilha Solteira.**

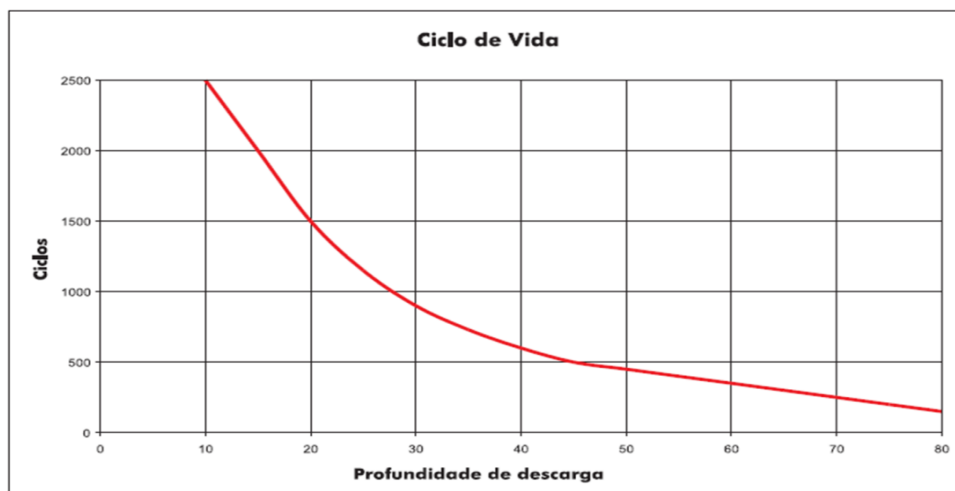
Temperatura e precipitação média de Ilha Solteira entre 1961 e 1990 <sup>[15]</sup>												
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Minima temperatura média °C	22	22.1	21.6	18.8	16	14.2	13.9	15.1	16.9	19.9	20.9	21.5
Máxima temperatura média °C	31.7	31.6	31.6	30.5	28.4	27.3	27.7	30.2	30.6	31.6	31.9	31.7
Precipitação média mm	234	186.8	152.8	81.7	56.2	38.1	25.1	18.3	46.3	114.1	137.4	219.1

Fonte: Extraído de TEMPOAGORA, 2012.

O Gráfico 1 mostra como varia o ciclo de vida útil das baterias Freedom relacionados com o regime de funcionamento.

A vida útil As baterias estacionária Freedom são projetadas para apresentar uma vida útil de 4 anos a 25°C, considerando profundidade de descarga de 20%. A temperatura do ambiente de operação da bateria deve sempre estar entre -10°C e 45°C, porém, a operação do acumulador em ambientes com temperatura superiores a 25°C acarretará na redução de sua vida útil (FREEDOM, 2008).

**Gráfico 1. Ciclo de vida útil das baterias.**



Fonte: Extraído de FREEDROM, 2008.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é dimensionar um sistema de geração fotovoltaica de energia elétrica, para suprir de modo autônomo a energia necessária para o funcionamento de um RTLS e garantir a confiabilidade do fornecimento de energia elétrica.

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

O sistema de alimentação por energia solar foi projetado para abastecer um conjunto de quatro transmissores RTLS usados como uma espécie de *GPS* local,

emitindo sinais de um conjunto de antenas para receptores instalados em maquinários informando a estes a localização precisa dentro de um setor agrícola.

O RTLS deste exemplo foi utilizado para posicionar plantadeiras e colheitadeiras em uma fazenda. Os dispositivos ficaram ligados durante o tempo de trabalho rural, em uma média de 12 horas (das seis da manhã, às seis da tarde), para isso foi dimensionado um sistema fotovoltaico autônomo para autonomia de três dias. Além disso, foi possível desenvolver o trabalho considerando dias chuvosos (ou de baixa insolação).

Os cálculos foram baseados em dados meteorológicos locais e nas características do sistema, a fim de se obter materiais e instalações adequadas para tal autonomia.

A potência dos aparelhos é de 36 W e a tensão de trabalho é de 12 volts. Foram quatro torres de transmissão, que fecham um perímetro de posicionamento. O dimensionamento foi para uma torre, e replicado para todos.

O sistema fotovoltaico para a alimentação de cada torre é composto por: (i) transmissores RTLS (4); (ii) conjunto de antenas (6); (iii) GPS (1); (iv) módulos fotovoltaicos Suntech Power modelo STP135-12/TEA (4); (v) bateria Freedom DF4001 (1); (vi) controlador de carga Morninstar PS-30 (1) e (vii) painel fotovoltaico (1).

### 3.1 Características do Sistema Fotovoltaico

O consumo do conjunto foi obtido das relações de potência da carga instalada e a demanda de tempo de utilização, conforme a equação (1).

$$Ec\left(\frac{Wh}{Dia}\right) = P(W) * Tu(h) \quad (1)$$

Sendo:

Ec( Wh/Dia) - Energia Consumida por dia.

P(W)- Potencia em Watt.

Tu(h)- Tempo de Utilização em Hora.

Através da energia diária necessária e o rendimento global, conseguiu-se definir a energia real gerada e armazenada diariamente, ou seja, energia gerada para cobrir as necessidades reais do sistema pela equação (2).

$$Er(W) = \frac{Ec(W)}{R} \quad (2)$$

Sendo:

$E_r(W)$  – Energia real diária em Watts.

$E_c(W)$ - Energia diária em Watts.

R- Rendimento.

### 3.2 Banco de Baterias

O banco de baterias para este sistema fotovoltaico foi capaz de armazenar a energia elétrica para três dias de trabalho (autonomia de 3 dias), em uma tensão de 12 volts.

Foram utilizadas as baterias do fabricante Freedom, do tipo monobloco de 12 volts, com as capacidades (de acordo ao modelo) listadas na tabela 2, na Revisão.

Os efeitos de envelhecimento poderiam abreviar a vida das baterias, caso houvesse falha na escolha da capacidade, falha de instalação, ou utilização de controladores de carga de má qualidade, ou que operasse fora das condições ideais nas atividades de manutenção.

#### 3.2.1 Capacidade Útil

Energia utilizável da bateria, energia que deveria entrar e possivelmente sair da bateria, dada pela capacidade descrita na equação (3).

$$C_u(Ah) = (E_r * N) / V_i \quad (3)$$

Sendo:

$C_u(Ah)$  – Capacidade útil em Ampère-hora.

$E_r$  – Energia real em Ampère-hora.

N- Número de dias.

$V_i$ - Tensão da bateria em Volts.

#### 3.2.2 Capacidade Real

Como o banco de baterias não poderia perder sua carga toda, ou seja, descarregar em 100%, a capacidade real ( $C_r$ ) deveria ser maior que a capacidade útil ( $C_u$ ), conforme a equação (4)

$$C_r = C_u / p_d \quad (4)$$

Sendo:

$C_r(Ah)$  - Capacidade real em Ampère-hora.

$C_u (Ah)$  - Capacidade útil em Ampère-hora.

$p_d$  - Profundidade de descarga.

### 3.2.3 Número de Elementos em Série

A Tensão Nominal do sistema fotovoltaico ( $V_i$ ), equivalente as das baterias escolhidas (12 volts), tornou simples o calculo do numero de elementos da bateria em série, conforme a equação (5).

$$B_s = V_i / V_b \quad (5)$$

Sendo:

$B_s$  – N° de Elementos em série.

$V_i$  – Tensão em Volts nominal do sistema fotovoltaico.

$V_b$ - Tensão em Volts de cada elemento de bateria.

### 3.2.4 Número de Elementos em Paralelo

O modelo DF4001, com capacidade (C20) de 220 Ah (para o regime de descarga de 20 horas). O numero de elementos em paralelo foi dado conforme equação (6), a seguir:

$$B_p = C_r / C_{20} \quad (6)$$

Sendo:

$B_p$  – Numero de elementos em paralelo.

$C_r$ - Capacidade real em Ampère-hora.

$C_{20}$ - Capacidade p/ regime de descarga em Ampère-hora.

## 3.3 Painel Fotovoltaico

Dimensionado o Banco de Baterias, a próxima etapa foi executar os cálculos necessários para dimensionar o painel fotovoltaico. Para isso, tornou-se necessário consultar os dados de radiação solar e as normais climatológicas do local de instalação do sistema fotovoltaico autônomo, conforme a tabela (3).

### 3.3.1 Correção da Radiação no Plano Inclinado

A inclinação ideal do painel fotovoltaico de um sistema fotovoltaico autônomo foi obtida através da equação (7)

$$B = L + L/4 \quad (7)$$

Sendo:

$B$ - Inclinação Ideal em graus

$L$ - Latitude

### 3.3.2 Módulo Fotovoltaico e Correção de Potência de Pico

O painel fotovoltaico foi composto por módulos fotovoltaico do fabricante Suntech Power modelo STP135-12/TEA, cujos dados estão expostos na Tabela 6.

Os valores indicados pelo fabricante foram usados como referência, sendo necessário fazer as adequações da potência pico, tensões e correntes pelas médias de temperatura do local. Para isso, foram utilizados coeficientes de temperatura, mostrados na Tabela 4.

De posse dos coeficientes de temperatura, coube pesquisar os valores de temperatura máxima do local da instalação, necessários para os cálculos.

#### 3.3.2.1 Temperatura Ambiente

A temperatura ambiente é soma da temperatura mensal do período, no caso foi de um ano, conforme a equação (8).

$$T_a = M_t = \sum_{i=1}^{12} M_i / 12 \quad (8)$$

Sendo:

$T_a$ - temperatura ambiente.

$M_t$ - Média anual de temperatura °C.

$M_i$ - Máxima temperatura média mensal °C.

#### 3.3.2.2 Perda de Potência de Pico

As correções da potência pico por temperatura foram implementadas utilizando a equação (9):

$$L^{\circ}C_{pmax} = T_a * C_{tpw} \quad (9)$$

Sendo:

$L^{\circ}C_{pmax}$ - Perda de potencia de pico.

$T_a$ - Temperatura ambiente °C.

$C_{tpw}$  - Coeficiente de temperatura da potência de pico.

#### 3.3.2.3 Potência Aproveitável

A potência aproveitável foi obtida na equação (10), abaixo:

$$W_{pc} = R^{\circ}C_{pmax} * W_p \quad (10)$$

Sendo:

$W_{pc}$  – Potência Aproveitável

$R^{\circ}C_{pmax}$  – Rendimento do Módulo

$W_p$ - Potencia de Pico em Watts.

O valor do rendimento do módulo de 85,72% foi utilizado para estimar a geração diária de energia elétrica (MORNINGSTAR, 2018).

### 3.3.3 Energia Gerada pelo Painel Fotovoltaico

O painel fotovoltaico foi dimensionado para gerar a energia para um dia de trabalho com excedente de energia sendo armazenada no banco de baterias, para isso foi necessário considerar o tipo de controlador de carga utilizado, pois ele determinou o aproveitamento da potência gerada pelos módulos fotovoltaicos. Muitos controladores utilizam MPPT (Maximum Power Point Tracking) para obter a máxima capacidade da bateria enquanto foi carregada. (PEREIRA, 2012).

Se fossem utilizados controladores de carga com MPPT, a energia que o painel fotovoltaico geraria ( $E_p$ ) seria igual à energia real diária ( $E_R$ ), porém o controlador de carga sem MPPT, utilizado, provocou pequenas perdas, durante o seu funcionamento, que foram consideradas, portanto o painel fotovoltaico foi projetado para gerar ( $E_p$ ) pelo menos 10% a mais que a  $E_R$ , para compensar as perdas nos controladores:

A energia do painel foi maior que a energia consumida, e foi obtida pela equação (11):

$$E_p = E_R / 0,9 \quad (11)$$

Sendo:

$E_p$ - Energia do painel fotovoltaico.

$E_r$ - Energia real diária.

### 3.3.4 Energia Produzida em Amperes-Hora por Dia

A capacidade de fornecer corrente ao sistema, foi obtida pelo total de energia necessária em Watts dividido pela tensão do sistema, como descrito pela equação (12).

$$I_p = E_p / V_i \quad (12)$$

Sendo:

$I_p$ - Energia produzida em Ampère-hora.

$E_p$  - Energia diária em Watts.

$V_i$ - Tensão no sistema fotovoltaico em Volts.

### 3.3.5 Número de Módulos em Série

O sistema fotovoltaico dimensionado, possuía tensão nominal de 12 volts, tornando desnecessário associar módulos em série, ou seja, um módulo atendeu a tensão necessária, para o cálculo foi utilizado a equação (13):

$$M_s = V_i / V_m \quad (13)$$

Sendo:

$M_s$ - N° de módulos.

$V_i$ - Tensão Nominal.

$V_m$ - Tensão do Módulo.

### 3.3.6 Número de Módulos em Paralelo

O número de módulos fotovoltaico em paralelo determinou a geração de energia elétrica, em ampere-hora, do painel fotovoltaico, considerando a radiação solar corrigida ( $HSP_k$ ) do local, a corrente em máxima potência ( $I_{mpp}$ ) do módulo fotovoltaico escolhido, e o rendimento por fator de temperatura ( $R^{\circ}C_{pmax}$ ). A quantidade de módulos em paralelo, dada pela equação abaixo, utilizando a equação (14):

$$m_p = \frac{I_p}{R^{\circ}C_{pmax} * I_{mpp} * HSP_k} \quad (14)$$

Sendo:

$m_p$ - Quantidade de módulos em paralelo.

$I_p$ - Corrente máxima em Ampères-hora.

$R^{\circ}C_{pmax}$ - Rendimento por fator de temperatura.

$I_{mpp}$ - Corrente em máxima potência.

$HSP_k$ - Radiação solar corrigida.

### 3.3.7 Controlador de Carga

Após definir a quantidade e associação de módulos, dimensionou-se o controlador de cargas. Para isso, foi preciso saber qual o valor da corrente de entrada ( $I_e$ ), e o valor da corrente de saída ( $I_s$ ).

#### 3.3.7.1 Corrente de Entrada

A corrente de entrada ( $I_e$ ) se referiu à máxima corrente elétrica que saindo do painel fotovoltaico, passava e regulada pelo controlador de cargas carregava os elementos do banco de baterias. O valor da corrente de entrada foi acrescido do

fator de segurança de 25% na corrente de curto-circuito do painel fotovoltaico, que foi dado pela equação (15), seguinte:

$$I_e = I_{ccp} * 1,25 \quad (15)$$

Sendo:

$I_e$ - Corrente de entrada do controlador.

$I_{ccp}$ - Corrente de curto-circuito do painel.

### 3.3.7.2 Corrente do Controlador de Carga com Fator de Segurança

A corrente máxima de saída do controlador foi o produto correntes máximas de cada módulo pelo numero de módulos em paralelo, encontrada na equação (16):

$$I_{sm} = I_{ccp} * 1,25 * M_p \quad (16)$$

Sendo:

$I_{sm}$  – Corrente máxima de saída do controlador.

$I_{ccp}$ - Corrente de curto circuito no painel.

$M_p$ - Numero de módulos.

### 3.3.7.3 Corrente de Saída

A corrente  $I_s$  nominal do sistema foi a que circulou através do banco de baterias, passando pelo controlador de carga e seguindo para os aparelhos consumidores. Obteve-se o valor dessa corrente pelo resultado da equação (17):

$$I_{sn} = \left( \frac{P_t}{V_i} \right) * 1,25 \quad (17)$$

Sendo:

$I_{sn}$  – Corrente de saída nominal.

$P_t$ - Potência do transmissor RTLS.

$V_i$ - Tensão nominal.

### 3.3.7.4 Escolha do Controlador

O controlador de carga do fabricante Morningstar, modelo PS-30, apresentou requisitos técnicos aos desejados, pois trabalhava tanto em 12 V, como em 24 V; e foi capaz de controlar até 30 amperes (MORNINGSTAR, 2018).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para dimensionar as placas e baterias que devem compor o sistema fotovoltaico, foi necessário calcular o quanto de energia é consumida para alimentar

os equipamentos por um dia de trabalho. O valor da Energia Real Diária (485 Wh/dia) utilizado para o cálculo do banco de baterias e do painel fotovoltaico, conforme equação (1).

Os aparelhos de RTLS trabalham com tensão de 12 volts, portanto não foi necessária a utilização de mais de um inversor autônomo no sistema fotovoltaico. Para o dimensionamento do banco de baterias, primeiramente atentou-se para a necessidade de considerar as perdas e o rendimento global de um sistema fotovoltaico, como a energia que entrava na bateria não é a mesma que saía, somado a isso havia as perdas no caminho entre o arranjo fotovoltaico e as cargas. Em média, o rendimento global (R) do sistema fotovoltaico foi de 89%, (CRESESB, 1999). Por isso, a energia que deveria ser gerada e armazenada para compensar as perdas (média de 11% de perdas), seria acrescida de 11%. Através da energia diária e o rendimento global, definiu-se a energia real,  $ER = 485 \text{ Wh/dia}$ , gerada e armazenada diariamente, conforme a equação (2).

Quanto ao banco de baterias com autonomia de três dias, utilizou-se 60 % autonomia da bateria, ou seja, o banco de baterias se descarregava em 20% por dia. A projeção de vida útil das baterias foi obtida através do gráfico (1), e dada a profundidade de descarga (Pd) de 20%, as baterias possuiriam vida útil estimada de 1500 ciclos. Sendo assim, como os ciclos das baterias são diários, é possível um tempo de vida de até quatro anos, porém ao se utilizar a Pd de 60%, as baterias teriam vida útil estimada de 350 ciclos. Contudo, submetidas a ciclos de três dias, as baterias podem ter vida mínima útil de três anos.

A capacidade útil ( $C_u$ ) do banco de baterias, em amperes hora, foi obtida pela equação (3), obtendo-se o valor de  $C_u = 121,25 \text{ Ah}$ . Aplicando  $C_u$  na equação (4) chegamos a Capacidade Real,  $CR = 202 \text{ Ah}$ .

Para atingirmos a tensão necessária do sistema, foi necessário integrar as baterias em bancos em série e paralelo de forma que a tensão e a capacidade de corrente fossem adequadas. O valor atingido foi de 1 (um) elementos em série de acordo com a equação (5) e também 1 (um) elemento em paralelo conforme a equação (6), nesta condição o banco de bateria ao trabalhar com 92% da sua capacidade, ofereceu uma margem de segurança mínima.

Quanto aos painéis fotovoltaicos, utilizou-se as informações de latitude ( $20^{\circ}26'26.5''$  Sul) e longitude ( $51^{\circ}21'04.8$  oeste) em pesquisa no site do CRESESB

e ele retornou a seguinte tabela (3) de valores da radiação diária média em [KWh/m<sup>2</sup>, dia]. O local de referência de valores próximo é a cidade de Três Lagoas (46,2 km de distância), por isso utilizou-se os valores de radiação desta localidade. Sendo assim, para garantir rendimento satisfatório o ano inteiro foi necessário buscar a correção da radiação no plano inclinado, porém antes de qualquer coisa, foi necessário fazer as correções da Radiação Solar no plano inclinado do painel fotovoltaico. Como se tratava de um sistema fotovoltaico autônomo, ou seja, não podendo contar com outras fontes de energia, seria necessário instalar em local propício. Para possibilitar utilização de uma melhor inclinação, de maneira a obter a maior captação, foi para isso a equação (7), sendo a inclinação ideal calculada de 25,5°.

Para fazer as correções, fatores de correção da radiação por inclinação (*k*) foram utilizados da tabela (4) de latitude de 20°. Desta tabela, foram extraídos os valores do fator de correção *k* para a inclinação de 25° (que mais se aproxima de 25,5°), disponível no programa integrador on-line Bluesol. Contudo, para maior rendimento do sistema de geração fotovoltaico, a placa solar deveria estar orientada para o norte verdadeiro e inclinada em 25,5°, totalmente livre de sombra.

Utilizando o fator de correção *k*, teremos os valores da Radiação Solar em média diária (KWh/m)/dia, apresentados na tabela (5).

Mesmo após as correções, o menor valor de Radiação Solar (em média diária) continua sendo no mês de Junho; mas com sensível aumento, devido à orientação (Norte Verdadeiro) e inclinação (25°) corrigida. Assim, selecionou-se esse valor de radiação solar  $HSP_k = 4,38 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}^{-1}$  como base para o dimensionamento do painel fotovoltaico.

O módulo Suntech Power Modelo STP135-12/TEA possui como características o coeficiente de temperatura da potência máxima  $W_p = 0,47$  extraído na Tabela (7) e Temperatura Ambiente,  $M_t = 30,4 \text{ °C}$ , conforme a equação (8)

Utilizando a equação (9),  $L^\circ C_{pmax} = 14,28\%$  foi a perda de potência de pico, por outro lado, o rendimento foi de 85,725 %. Portanto, a potência aproveitável dada pela equação (10), a correção de Potência de Pico foi de  $W_{pc} = 115,7 \text{ W}$ .

A energia gerada pelo painel fotovoltaico no sistema, com utilização do controlador de carga sem MPPT, devido ao valor da energia real diária ser pequeno (485 Wh/dia), usando a equação (11),  $EP = 540 \text{ Wh/dia}$ .

Buscamos trabalhar com energia elétrica a ser produzida diariamente, em amperes-hora, por isso usamos a equação (12) para transformar a unidade watt-hora por dia, em amperes-hora, por dia. A Corrente diária foi de  $IP = 540/12 = 45 \text{ Ah}$

Ao quantificar o número de Módulos em série e paralelo, usamos as equações (13) e (14),  $mp = 1,55$ , portanto adotou-se dois módulos suntech stp135-12/tea, cada módulo geraria, aproximadamente, 29 amperes-hora por dia resultando em 28,94 ah. Caso fosse utilizado um módulo de menor potência, a quantidade de módulos seria maior, para o painel fotovoltaico que dimensionamos, o valor da corrente de curto-circuito, em amperes, utilizando a equação (15) será  $I_{SC}$ , painel = 8,2 com 2 painéis.

O controlador de carga deveria ser capaz de controlar essa corrente, com um fator de segurança de 25%. Portanto, o valor da corrente de entrada, equação (16),  $I_E$  calculada foi de 20,5. A corrente de saída dada pela equação (17) para potência do RTLS de 36 Watts, tensão 12 V e fator de segurança de 25%,  $I_s = 3,75 \text{ A}$ .

O controlador escolhido levando em consideração menor custo/benefício, especificações técnicas de carga, Tensão Nominal, corrente de entrada, corrente de saída foi o OS-30, Morningstar Corp5, apresentado na figura (3).

**Figura 3. Controlador de carga PS-30.**



**Fonte:** Extraído de MORNINGSTAR, 2018.

## 5 CONCLUSÃO

No decorrer do trabalho, observou-se que é de suma importância um bom dimensionamento do sistema fotovoltaico e adaptá-lo ao equipamento a ser

alimentado. Para que funcione de forma autônoma, são vários fatores a considerar tanto em aspectos técnicos quanto climáticos. Os resultados obtidos foram satisfatórios e mostraram a importância de se procurar por fontes de energias alternativas para desenvolver projetos sustentáveis para sociedade. O dimensionamento da alimentação elétrica para um sistema RTLS foi cumprido com êxito e poderia ter sido adequado para inúmeras atividades semelhantes que demandam necessidade de energia elétrica, concluímos que a energia solar é uma alternativa que oferece vantagens ambientais e econômicas frente a outros sistemas de geração de energia.

## REFERÊNCIAS

BLUESOL. Fatores de Correção da Radiação por Inclinação ( $k$ ),2014. Disponível em: < <http://www.bluesol.com/downloads/HSP-e-FatorK.xls> > Acesso 19 abril 2018.

BLUESOL.Sistema fotovoltaico autônomo, 2014. Disponível em:  
< <http://www.bluesol.com/energia-solar/sistemas-fotovoltaicos-autonomos/> > Acesso 19 abril 2018.

CLIMATEMPO. Temperatura em Ilha Solteira, 2016. Disponível em:  
< <https://www.climatempo.com.br/climatologia/2333/ilhasolteira-sp> >. Acesso em: 02 maio 2018.

CRESESB. Potencial Solar-SunData V3.0. Disponível em:  
<<http://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>> Acesso 19 abril. 2018

DI SOUZA, R. Livro digital de Introdução aos Sistemas Solares,2016. Disponível em:  
<<http://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>>. Acesso em: 02 mai 2018.

FREEDROM. Manual técnico bateria estacionária. Enertec do Brasil Ltda. 2008  
Disponível em  
<<http://www.logik.com.br/download/ManualTecnicoBateriasFreedom.pdf>> Acesso 19 abril. 2018

GALDINO, M.A; PINHO, J.T. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.  
CEPEL/CRESESB, 2014.p.50. Disponível em:  
<[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf)> Acesso 19 abril.2018.

GOOGLEMAPS. Coordenadas Geográficas . Disponível em <  
<https://www.google.com.br/maps/place/20%C2%B026'26.5%22S+51%C2%B021'04.8%22W/@20.4406172,51.3532252,355m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x0:0x0> >  
Acesso em 19 abr. 2018

MORNINGSTAR. Solar Controller. Disponível em:  
<<http://www.solarbrasil.com.br/images/solarbrasil/downloads/controladoresc/DATASHEET-PROSTAR.pdf> > Acesso em 19 abr. 2018

NEOSOLARENERGIA. Módulo Solar Fotovoltaico STP135D-12. Disponível em: <  
<https://www.neosolar.com.br/loja/fileuploader/download/download/?d=0&file=custom%2Fupload%2FFile-1366154009.pdf> > Acesso em 19 abril. 2018.

PEREIRA, A. Geração de energia para condomínio utilizando sistema fotovoltaico autônomo - estudo de caso em edifício residencial com seis pavimentos. Escola de Engenharia da UFMG. 2012. Disponível em:  
<[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-9AHFB9/monografia\\_ufmg\\_alisson\\_cruz\\_pereira.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-9AHFB9/monografia_ufmg_alisson_cruz_pereira.pdf?sequence=1) > Acesso em 19 abril. 2018.

TEMPOAGORA, Climatologia de Ilha Solteira , 2012. Disponível em  
<<http://www.tempoagora.com.br/previsao-do-tempo/SP//IlhaSolteira> > Acesso em 19 de abr. 2018.