



ISSN: 1984-3151

REDE MESH ALIMENTADA POR ENERGIA SOLAR

MESH NETWORK POWERED BY SOLAR ENERGY

Carlos Vinício Araujo Saraiva¹; Fabio de Souza Dutra²;

Sílvia Calmon de Albuquerque³

- 1 Engenheiro Eletricista. Centro Universitário de Belo Horizonte - UniBH. 2011. Belo Horizonte, MG. carvisa@gmail.com;
- 2 Engenheiro Eletricista. Centro Universitário de Belo Horizonte - UniBH. 2011. Belo Horizonte, MG. f.sd@hotmail.com;
- 3 Mestre em Ciência da Computação. Universidade Federal de Minas Gerais. Professora do Centro Universitário de Belo Horizonte - UniBH. Belo Horizonte, MG. silvia.albuquerque@prof.unibh.br.

Recebido em: 30/10/2011 - Aprovado em: 20/12/2011 - Disponibilizado em: 30/12/2011

RESUMO: Este trabalho apresenta um sistema autônomo de comunicação sem fio alimentada por energia solar fotovoltaica. Este sistema permite o acesso à Internet sem fio para dispositivos móveis em áreas ao ar livre. Tem como vantagens: a eliminação da infraestrutura de cabos elétricos para a instalação, a redução de custos com o projeto da rede sem fio, mão-de-obra para instalação elétrica e do próprio custo da eletricidade, devido a utilização de energia solar renovável.

PALAVRAS-CHAVE: Energia solar. Controladores de carga. Sistemas fotovoltaicos autônomos.

Abstract: This paper presents an autonomous system of wireless communications powered by solar photovoltaics. This system allows access to the Internet wirelessly to mobile devices in outdoor areas. The advantages: elimination of the infrastructure of electric cables for installation, reducing costs to the design of wireless, hand labor for wiring and the actual cost of electricity due to the use of renewable solar energy.

Keywords: Solar energy. Charge controllers. Photovoltaic systems autonomous.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos, a Internet tem se tornado uma ferramenta de grande importância no Cenário Mundial, formando uma rede de computadores usada praticamente em todo o planeta. Com o avanço tecnológico e a necessidade de se estar sempre ligado aos meios de comunicação, para manter-se

atualizado, observa-se o aumento da fabricação dispositivos eletrônicos capazes de se conectar à Internet.

Para que haja uma conexão entre os vários dispositivos presentes no mercado existem duas possibilidades, que são: a Ethernet, tecnologia predominante em redes locais com fio, que podem ser

através de cabos de par trançado e/ou fibra óptica. Ou através do uso de redes sem fio, onde estas utilizam o espaço como meio de transmissão através de ondas eletromagnéticas, utilizando tecnologia de rádio, micro-ondas ou infravermelho.

A Internet sem fio, conhecida popularmente como Wi-Fi ou *wireless*, possui algumas vantagens se comparadas com as redes cabeadas. Uma destas vantagens é a eliminação de infraestrutura de cabos para a instalação, o que acaba gerando uma redução dos custos. Outra vantagem com esse tipo de tecnologia, se comparado com as redes cabeadas, é a mobilidade concedida ao usuário. Considerando que o Brasil se encontra em uma zona tropical com altos índices de radiação solar durante todo o ano, a fonte de alimentação proposta para uma rede sem fio é fotovoltaica, possibilitando que o sistema seja implantado em áreas urbanas ou rurais ao ar livre. Na prática, a rede proposta neste trabalho tem seu funcionamento em malha, o qual também é conhecido como rede *Mesh* e cujo padrão ainda não é muito popular no país.

A principal meta do trabalho é ampliar a utilização de energia renovável no país visando a democratização da informação, para que todos possam, de forma justa, ter a chance de fazer parte deste mundo paralelo, que as redes de computadores proporcionam.

2 DESENVOLVIMENTO

Rede sem fio refere-se a uma rede de computadores sem o uso de cabos. Sendo utilizada a tecnologia de rádio frequência ou comunicação via infravermelho. As redes locais sem fio (WLAN) constituem-se como uma alternativa às redes convencionais com fio, fornecendo as mesmas funcionalidades, mas de forma flexível, de fácil configuração e com boa conectividade. A Tabela 1 apresenta uma comparação

entre as tecnologias sem fio e a Figura 1 mostra como são as áreas de cobertura destas tecnologias, tendo como base o guia técnico da INATEL (INATEL,2009).

Tabela 1
Especificações entre redes sem fio

Parâmetro	WIMAX Fixo	WIMAX Móvel	HSPA	1xEVDO	Wi-Fi
Padrões	IEEE802.16d	IEEE802.16e	3GPP Rel. 6	3GPP2	802.11a/g/n
Taxa de downlink	9.4Mbps em 3.5Mhz (3:1 TDD) ou 6.1Mbps simétrico	46Mbps com 3:1 TDD ou 32Mbps usando 1:1	14.4Mbps usando os 15 codecs ou 7.2Mbps usando 10	4.9Mbps	54Mbps compartilhado ou mais de 100Mbps de throughput camada 2 no 802.11n
Taxa uplink	3.3Mbps em 3.5Mhz (3:1) ou 6.1Mbps simétrico	7Mbps em 10Mhz (3:1) ou 4Mbps usando 1:1	5.8Mbps	1.8Mbps	
Largura de Banda	3.5 ou 7MHz em 3.5GHz; 10 ou 20MHz em 5.8GHz	3.5, 5, 7, 8.75 e 10MHz em todas as bandas	5MHz	1.25MHz	20MHz por canal
Modulação	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM	QPSK, 8PSK, 16QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Mux	TDM	TDM/OFDMA	TDM/CDMA	TDM/CDMA	CSMA
Duplexação	TDD, FDD	TDD	FDD	FDD	TDD
Frequência	2.5, 3.5 e 5.8GHz	2.3, 2.5 e 3.5GHz	800, 900MHz, 1.8, 1.9, 2.1GHz	800, 900MHz, 1.8, 1.9GHz	2.4Ghz, 5Ghz
Alcance (raio)	até 5km	menos de 1km	até 1,5km	até 1,5km	até 100m
mobilidade	Não aplica	média	alta	alta	baixa

Fonte- INATEL, 2009.

2.1 REDES LOCAIS SEM FIO IEEE 802.11/S

Segundo Oresques (2010), o padrão IEEE 802.11s é conhecido como rede sem fio em malha. Para explicar seu funcionamento, veja a implantação de uma grande rede *Wi-Mesh*, que foi implantada na capital paranaense como exemplo. Uma determinada localidade com disponibilidade de instalação de uma linha telefônica com sinal ADSL de alto fluxo (trabalhando com um fluxo de 4 Mbps), recebe um rádio de 5,8 GHz (KymaSTAR Plus) para um enlace ponto-a-ponto e um rádio na faixa de 2,4 GHz (Meraki Mini) com tecnologia Mesh, para o link ponto-multiponto. Pode-se visualizar esta etapa na Figura 1.

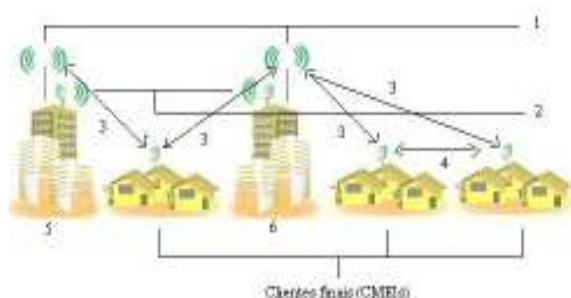


Figura 1 – Funcionamento de uma rede mesh “fonte”

Fonte- ORESQUES, 2010.

Legenda:

- 1- Ponto-multiponto 2,4 GHz;
- 2- Ponto-a-ponto 5,8 GHz;
- 3- Clientes ligados por ponto-multiponto;
- 4- Conexão por tecnologia Mesh onde um cliente recebe o sinal e repassa para outro;
- 5- Localidade com link ADSL externo (Linha telefônica com disponibilidade de fluxo);
- 6- Localidade com link via rádio (Ponto-a-ponto 5,8 GHz)

2.2 ENERGIA SOLAR NO BRASIL

A duração solar do dia, período de visibilidade do Sol ou de claridade, varia em algumas regiões e com os períodos do ano. As variações são mais intensas nas regiões polares e nos períodos onde o sol se encontra mais longe do equador (solstício). (ANEEL, 2011)

O inverso ocorre próximo à linha do Equador quando o sol passa pelo equador, tornando a duração dos dias iguais aos das noites (equinócios). (ANEEL, 2011)

A maior parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima da linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações na duração solar do dia. (ANEEL, 2011)

O Atlas Solarimétrico do Brasil, Editora Universitária da UFPE (2000), apresenta uma estimativa da radiação solar incidente no país, resultante da interpolação e extrapolação de dados obtidos em estações solarimétricas distribuídas em vários pontos do território nacional.

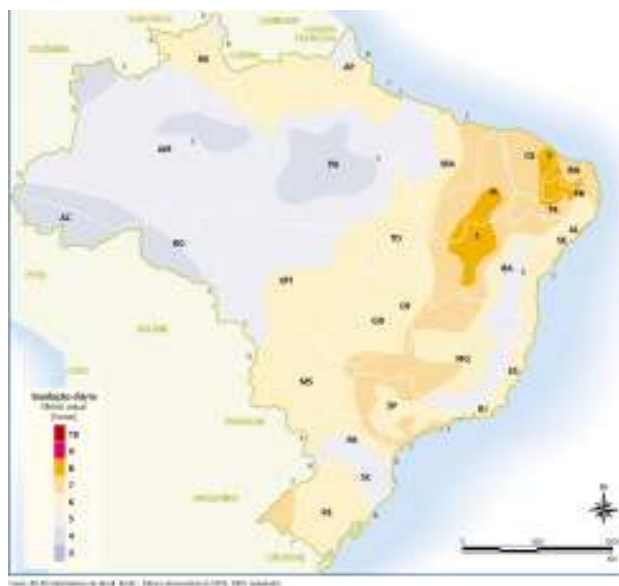


Figura 2 – Média anual de insolação diária no Brasil

Fonte – ANEEL, 2011.

2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos obedecem a uma configuração básica onde o sistema deverá ter uma unidade de controle de potência e também uma unidade de armazenamento. De acordo com a Figura 3 (CRESESB, 2011).

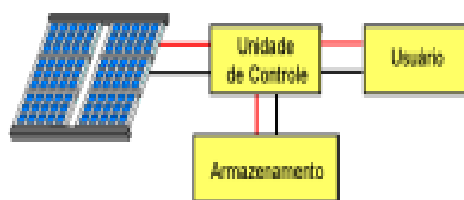


Figura 3 – Configuração de um sistema fotovoltaico.

Fonte – CRESESB, 2011.

2.3.1 MÓDULO FOTOVOLTAICO

Fotovoltaico significa a transformação direta da luz em energia elétrica, recorrendo-se a células solares. Neste processo são utilizados materiais semicondutores como o silício, o arsenieto de gálio, teluriato de cádmio ou disseleniuto de cobre e índio. A célula de silício cristalina é a mais comum. Atualmente, cerca de 95% de todas as células solares do mundo são de silício. Numa posição próxima à do oxigênio, o silício é o segundo elemento químico mais frequentemente utilizado na Terra, que apresenta uma disponibilidade quase ilimitada. O silício não existe como um elemento químico. Existe apenas associado à areia de sílica. (GREENPRO, 2004)

O material utilizado nas células solares deve ser da maior pureza possível. Isto pode ser conseguido através de sucessivas etapas na produção química. Até aos dias de hoje, os fabricantes de células solares têm obtido, na sua maior parte, o material purificado do desperdício da indústria eletrônica de semicondutores. (GREENPRO, 2004)

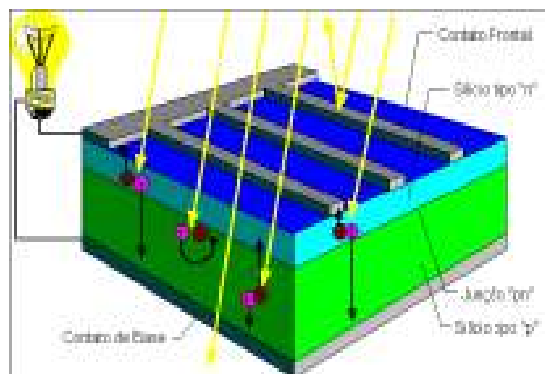


Figura 4 – Como funciona uma célula fotovoltaica

Fonte- CRESESB, 2011.

2.3.2 FATORES QUE AFETAM AS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS

Os principais fatores que influenciam as características elétricas de um painel são a

Intensidade Luminosa e a Temperatura das Células. A corrente gerada nos módulos aumenta linearmente com o aumento da Intensidade luminosa. Por outro lado, o aumento da temperatura na célula faz com que a eficiência do módulo caia, abaixando assim os pontos de operação para potência máxima gerada. (CRESESB, 2011)

Assim pode-se observar através do gráfico da Figura 5 que o efeito da temperatura afeta diretamente o ponto de potência máxima do painel fotovoltaico.

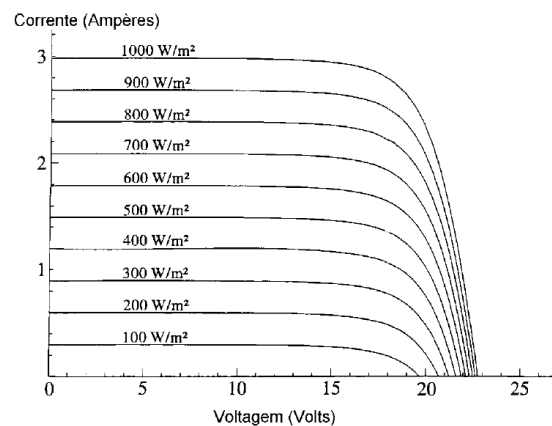


Figura 5 – Efeito causado pela variação de intensidade luminosa.

Fonte – CEPEL CRESESB, 2004.

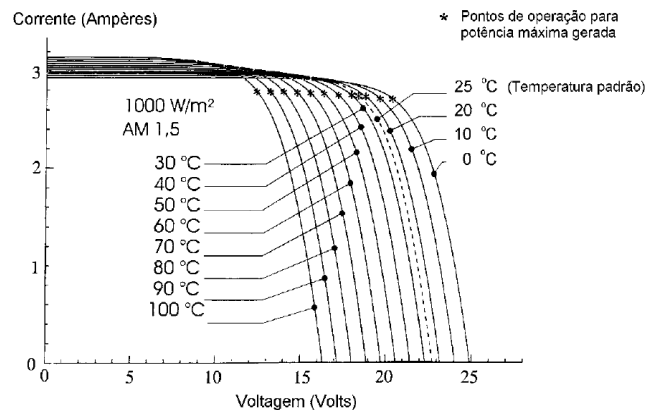


Figura 6 - Efeito causado pela temperatura na célula.

Fonte – CEPEL CRESESB, 2004.

2.4 CONTROLADORES DE CARGA

Os controladores de carga são utilizados quando um equipamento é ligado à bateria, a quantidade de energia elétrica armazenada nela vai diminuindo à medida que o tempo vai se passando. Para evitar que a bateria se descarregue por completo nos períodos longos sem insolação e de grande consumo, ou seja, tenha uma descarga profunda, é conveniente instalar um controlador de carga. Este acessório monitora a carga da bateria e impede que a mesma se descarregue completamente, aumentando a sua vida útil.

Já em períodos de grande insolação e pequeno consumo de energia, a bateria tende a se carregar em excesso, aumentando a sua tensão e reduzindo a sua vida útil. O controlador de carga evita este excesso desconectando o módulo. (SOLENERG, 2011)

2.4.1 TIPOS DE CONTROLADORES DE CARGA

CONTROLADOR DE CARGA TIPO SÉRIE E CONTROLADOR DE CARGA SHUNT

As configurações série e paralela diferenciam-se, basicamente, pela posição da chave que conecta os módulos às baterias. Na configuração série, a chave é colocada entre os dois subsistemas. Quando fechada, permite que os módulos entreguem corrente aos acumuladores, enquanto que aberta, ela impede esse fluxo de corrente. Já na configuração paralela, a chave é posicionada em paralelo, quando as baterias estão próximas de sua carga total, o arranjo fotovoltaico é curto-circuitado, e, conseqüentemente, isolado do restante do circuito. O curto-circuito pode afetar o sistema de acumulação, caso não haja um diodo de bloqueio para evitar que ele se descarregue. Estratégia de controle On/Off. (NETO *et al.*, 2008)

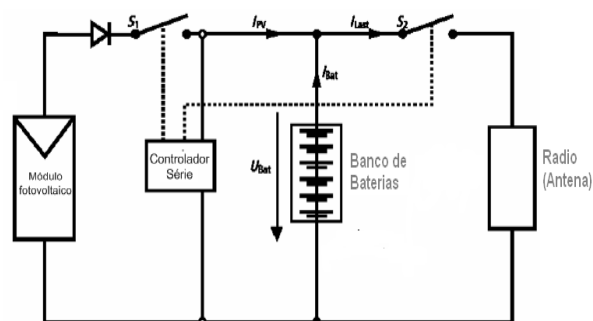


Figura 7 – Controlador de carga serie (on/off) –

Fonte – GREENPRO, 2004- modificado

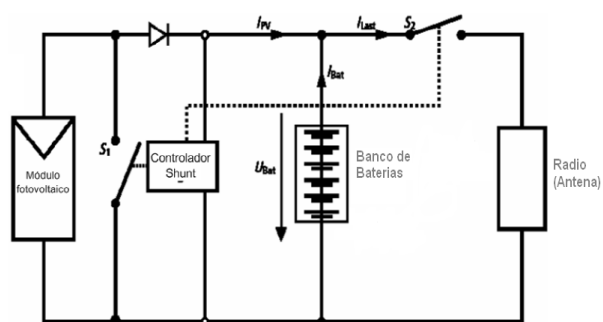


Figura 8 – Controlador de carga paralelo (shunt) (on/off)

Fonte – GREENPRO, 2004 - modificado.

2.5 ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

A quantidade de energia elétrica produzida pelos módulos fotovoltaicos varia significativamente com o nível de insolação. No início da manhã, no final da tarde ou em dias nublados os níveis de energia elétrica gerados são baixos, durante a noite não há nenhuma geração. Em dias claros, próximo ao meio dia, a geração está no máximo. Em sistemas isolados, necessita-se que a energia elétrica esteja disponível durante as 24 horas do dia e os 365 dias do ano, mesmo naqueles meses críticos, com muita nebulosidade. (SOLENERG, 2011)

A função da bateria é armazenar a energia gerada deixando-a sempre disponível, estabilizar a tensão do

sistema e servir como uma reserva de potência quando necessário. As baterias mais utilizadas em sistemas fotovoltaicos são as estacionárias de chumbo-ácido seladas, que são usualmente mais caras que as automotivas, mas que duram um tempo maior (podem operar com ciclos diários de carga e descarga mais profundos), o que pode ser importante para locais isolados e com pouca infraestrutura para troca das mesmas. As baterias reguladas à válvula são menos indicadas em condições de trabalho com temperatura ambiente elevada. Quanto maior é a capacidade da bateria maior é a autonomia de funcionamento do sistema na ausência de radiação solar e maior é sua vida útil. A capacidade das baterias é medida em Ah (Ampère-hora) e determina o número de dias que o sistema pode fornecer energia sem a presença do sol. (SOLENERG, 2011)

2.5.1 PROFUNDIDADE DA DESCARGA

Um parâmetro muito importante e que determina a vida útil de uma bateria chumbo-ácido é a profundidade de descarga. Na prática, uma bateria poderia ser descarregada até que a tensão entre o terminal positivo e negativo atingisse 0 V. Neste caso teria sido retirada toda a energia armazenada no sistema. Mas, nestas condições de descarga a bateria rapidamente iria perder sua vida útil. O problema das descargas “profundas” é a formação de estruturas irreversíveis de cristais de sulfato de chumbo. (CHAGAS, 2007)

Como foi citado anteriormente, o ciclo de vida de uma bateria chumbo-ácido está diretamente relacionado com a profundidade das descargas aplicadas a esta bateria. O número típico de ciclos de carga/descarga a 25°C, no que diz respeito à profundidade de descarga, é:

1. 150 a 200 ciclos com 100% de profundidade de descarga (descarga completa);

2. 400 a 500 ciclos com 50% de profundidade de descarga (descarga parcial);
3. 1000 ciclos ou mais com 30% de profundidade de descarga (descarga superficial).

A maioria das baterias recarregáveis prefere uma descarga parcial ao invés de uma descarga completa. Descargas completas repetidas diminuem a vida útil das baterias. A bateria mais afetada por repetidas descargas profunda é a chumbo-ácido. (CHAGAS, 2007)

2.5.2 TENSÃO DE FLUTUAÇÃO

Tensão de Flutuação é a tensão aplicada ao banco de baterias para evitar a auto-descarga. Nas baterias submetidas à tensão de flutuação correta, circula uma corrente chamada corrente de flutuação, que compensa as perdas devido às reações de auto-descarga. Quando submetida à tensão de flutuação a bateria é mantida carregada, ou seja, pronta para fornecer energia quando necessário. A tensão de flutuação depende da temperatura e do tipo de bateria. (CHAGAS, 2007).

2.6 ESCOLHA DO DISPOSITIVO DE COMUNICAÇÃO

Pesquisando os dispositivos de comunicação disponíveis no mercado, não foi possível efetuar uma avaliação mais técnica, pois os desenvolvedores não disponibilizaram tais informações, com exceção do dispositivo de comunicação da empresa MERAKI – míni. Por esta razão ele foi o escolhido.

O dispositivo de comunicação Rádio Meraki-Mini, utilizado nas redes *Mesh*, é o responsável em fazer o enlace entre as antenas de comunicação. No Brasil é distribuído pela empresa WNI. O equipamento utiliza a especificação 802.11b/g e estende a rede de Internet através de repetidores, pois cada ponto atinge um

diâmetro de até 250 metros utilizando uma antena 2dBi omnidirecional (Indoor) e 350 metros (Outdoor).

Tabela 2

Características Meraki Mini Indoor.

Rádio	CPU 100 MHz MIPS, Memória de Flash 128KB e SDRAM de 32 MB
Norma / Compatibilidade	IEEE 802.11b/g
Taxa de Transmissão	1, 2, 5.5, 6, 11, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
Potência de Transmissão	300 mW (23dBm)
Cobertura	Indoor: 30-50 metros Outdoor: 100-250 metros Com Antena de ganho de polarização pode alcançar até 1 Km
Conector de Antena	RP-SMA, também disponível para clip antenna
Interface de Dados	Ethernet 10/100 Mbps auto-crossover (RJ45)
Power over Ethernet	5,6 – 11 VDC (sem 802.3af)
Consumo	3,3 W (3,5W com a porta Ethernet desconectada)
Dimensões	190x59x25,5 mm
Peso	340 g
Temperatura de Op.	-20 °C - 34 °C
Certificação	ANATEL, FCC Part 15, Section II and C; certificação de módulo, CE Certified
Unidades Incluídas	Antena com 2dBi, Fonte de Alimentação CA 100-240 volts e 6 metros cabo Ethernet CAT 5

Fonte- (WNI, 2011)

O rádio utilizado no projeto, e o meraki mini indoor, uma vez que o mesmo possui características suficientes para satisfazer as necessidades do projeto.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ESCOLHA DO DISPOSITIVO DE COMUNICAÇÃO

De acordo com o fabricante a tensão de alimentação do rádio (antena) pode variar de 5.6 à 18Vdc, então, como referência, utilizou-se um valor de tensão central que se encontra entre 5.6 à 18 Vdc o que dá um valor de alimentação de 11.8 Vdc.

Considerando os piores dos casos para o dispositivo de comunicação, onde os mesmos trabalham com sua potência máxima, consumindo assim uma alta demanda de banda o que corresponde a uma potência de 3.5W de potência média. O que gerou um consumo de energia por dia de 84W.h/dia. Este valor foi obtido da fórmula que se encontra abaixo:

$$\text{Energia/dia} = [(P \text{ media} * 24h)] \Rightarrow [(3,5 * 24h)]$$

$$\text{Energia/dia} = 84 \text{ W.h/dia}$$

De posse da potência, pode-se calcular a corrente média utilizada pelo rádio.

$$P=V*I \Rightarrow I=P/V \Rightarrow I=3.5/11.8 \Rightarrow I= 0.3$$

A

Assim de posse da corrente, é possível encontrar os valores de toda energia consumida em um dia de funcionamento do rádio, considerando a corrente média de 0.3 A e o mesmo operando 24 h/dia, chegamos a um consumo de 7.2 Ah/dia.

3.2 ESCOLHA DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Para dimensionamento do sistema de armazenamento, devem-se levar alguns parâmetros em consideração, que são:

- Apresentar uma capacidade de descarga máxima de 50% da bateria, onde descargas mais profundas significam um menor tempo de vida para a bateria. Normalmente para as baterias de chumbo ácido são adotados valores de 50% e 60%. (CRESESB,1999)
- Considerar o sistema ativo 24Hs por dia. (CRESESB,1999)
- Dimensionamento da autonomia do sistema, aspectos que tem de ser tratado com atenção no desenvolvimento do sistema e a sua autonomia na ausência de luz solar, pois a autonomia do sistema está diretamente relacionado com o dimensionamento do

sistema de armazenamento, ou seja, sistemas com grandes capacidades de autonomia apresentam, peso e dimensões maiores, o que em nosso sistema não seria interessante, uma vez que o processo de instalação pode-se tornar impraticável. (CRESESB,1999)

Desta forma pensando na capacidade e no peso do sistema de armazenamento de baterias, considerando o sistema ativo por até um dia e meio sem energia solar, teremos uma autonomia em horas de 36 horas.

Autonomia (hs)= sistema ativo (h) * N° de dias sem energia solar

Autonomia (hs)=24*1.5

Autonomia (hs)=36

Consumo do sistema para autonomia de 36 hs

Cs= Consumo

Cs= 36 *0.3

Cs= 10.8Ah

- Capacidade de descarga parcial, 50% de descarga Ah. Para garantir que, além do consumo previsto do item anterior, haja uma garantia de 50% da capacidade mínima das baterias, sendo estipulada uma bateria que seja duas vezes maior que seu consumo.

10.8 Ah * 2 = 21.6Ah

Assim as baterias selecionadas para o sistema, foram duas baterias de ácido de chumbo seladas por obter melhor preço eficiência, modelo UP6120, regulada por válvulas a serem ligadas em serie o que é equivalente a uma bateria de 12 V.

Tabela 3

Especificações técnicas do sistema de armazenamento

Sistema de armazenamento de Energia	
Empresa	Uni Power
Dimensões (mm)	151 x 50 x 99.5
Peso (Kg)	1.8
Capacidade (Ah)	12
Tensão (V)	6
Corrente (A)	4.8 Max
Tensão Flutuante (V)	6.8 - 6.9
Vida útil (anos)	2
Preço Unitário (R\$)	50

3.3 DIMENSIONAMENTO DO MÓDULO FOTOVOLTAICO

Para fazer a escolha correta do módulo fotovoltaico deve-se levar alguns requisitos em consideração, que são:

- Verificar qual a insolação media diária para o estado onde o sistema será montado. No nosso caso da pesquisa, considerou-se que o sistema será montado em Minas Gerais, o que de acordo com o Atlas Solarimétrico Brasileiro (2000), disposto no site da ANEEL, indica uma insolação média de 5 horas por dia.
- Considerar que o módulo fotovoltaico seja capaz de suportar intempéries, como chuva, vento e granizo. Além de ser leve, obter pequenas dimensões e possuir robustez mecânica.
- Considerar o rendimento do controlador de carga de 60% de acordo com o GREENPRO (2004).
- Considerar o rendimento do módulo fotovoltaico de 90% de acordo com o fabricante das placas.

Assim, como o consumo do dispositivo de comunicação é de 84 w.h/ dia, e considerando o rendimento do controlador de carga e o rendimento do módulo fotovoltaico de 60% e 90% respectivamente,

teremos um novo valor consumido de 129,36 w.h/ dia. Considerando como exposto anteriormente a uma insolação média diária de 5 horas teremos um módulo fotovoltaico com capacidade mínima de 25,9 W. Considerando um módulo fotovoltaico com este valor, ele não terá capacidade suficiente para recarregar as baterias, uma vez que seu dimensionamento foi calculado considerando apenas o consumo do dispositivo de comunicação (antena).

Desta forma o módulo fotovoltaico especificado para o projeto foi um modulo de 30 W, que sendo exposto a uma radiação diária de 5 horas tem uma capacidade de 150 w.h/ dia, o que disponibilizara energia suficiente para que haja uma recarga das baterias.

Tabela 4

Especificações do modulo fotovoltaico escolhido.

Modulo Fotovoltaico	
Empresa	BP Solar
Dimensões (mm)	595 x 502 x 50
Peso (Kg)	3.9
Potencia (W)	30
Tensão (V)	12
Tensão Max `a 25 °C (V)	16.8
Corrente (A)	1.78
Corrente de curto circuito (A)	1.94
Temperatura de operação (°C)	-40 a +85
Eficiência (%)	± 10%
Matéria das células	Silício mono
Umidade relativa (%)	85
Preço Unitário (R\$)	375
Vida útil (anos)	12

3.4 ESCOLHA DO CONTROLADOR DE CARGA

Pesquisando os controladores de carga disponíveis no mercado, o controlador de carga escolhido, e o do tipo série em sua configuração construtiva. Sendo sua estratégia de controle, conhecido como PWM, onde suas chaves aplicam pulsos de corrente em alta frequência, variando ciclo de operação (*duty cycle*). Com a utilização da estratégia de controle PWM, as baterias são alimentadas por uma corrente pulsada, de forma a mantê-las em flutuação, fazendo com que

não recebam mais energia do que são capazes de armazenar. É possível ver a representação desse processo, na ilustração da Figura 9.

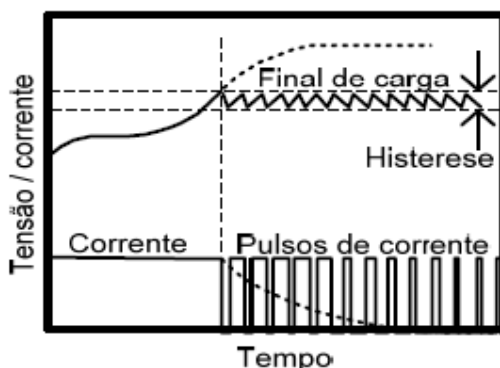


Figura 9 – Comportamento da tensão e da corrente nas baterias com controladores baseados em PWM.

Fonte – NETO *et al.*, 2008.

Tabela 5

Especificação do controlador de carga

Controlador de carga	
Empresa	Phocos (Alemã)
Dimensões (mm)	180 x 100 x 32
Peso (g)	180
Max Tensão do painel (V)	56
Tensão na carga (V)	12
Max Corrente do Modulo (A)	5
Max carga elétrica (A)	6
Temperatura de operação (°C)	-40 a +50 °
Consumo de Energia (mA)	4
Tensão Flutuante (V)	13.7
Tensão Max na bateria (V)	30
Preço Unitário (R\$)	79

3.5 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

Pode-se observar através da Figura 10, como o protótipo deve ser instalado. Para sua representação foi utilizado o diagrama em blocos, possibilitando a visualização sistêmica do protótipo.

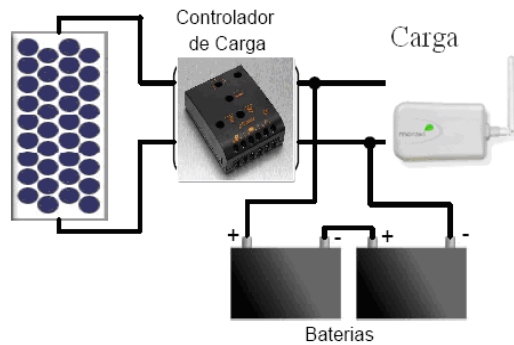


Figura 10 – Sistema montado através de diagrama em blocos

3.5.1 DEFINIÇÃO DA ALTURA DAS TORRES E DAS ANTENAS

Para definir a altura onde as antenas ficarão nas torres de transmissão é necessário levar em consideração a Zona de Fresnel. Nomeado pelo físico Augustin-Jean Fresnel, é uma das elipsóides que define a forma ou padrão da irradiação do sinal sem fio. O fator que define a altura das torres é o primeiro elipsóide de Fresnel, que deve estar completamente desobstruído.

Para o mundo sem fio, a primeira zona de Fresnel é a importante. Especificamente a Zona de Fresnel é a área ao redor da linha de visada que o sinal de rádio espalha após sair da antena. É imprescindível que a linha de Fresnel esteja livre de obstáculos (morros, prédios, árvores, carros, água, etc.). Tipicamente 20% de bloqueio da zona de Fresnel é aceitável por equipamentos adequados. Acima de 40% de bloqueio, a perda de sinal e performance são muito significantes. (NOVANETWORK,2011).

Experimentos demonstram que a primeira Zona de Fresnel concentra 50% da potência transmitida entre as duas antenas. Verificando que a primeira zona de Fresnel é onde concentra a maior potência de transmissão, se comparada as outras, temos de cuidar para que o enlace seja feito da melhor forma possível, por isso é necessário fazer o cálculo da primeira

Elipsóide, buscando que o mesmo fique desobstruído o máximo possível. (MEHL, 2011)

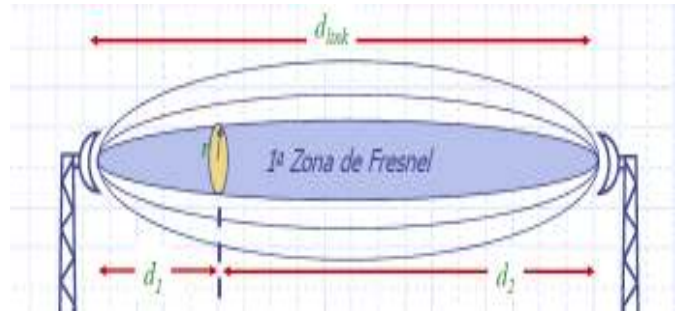


Figura 11 – Elipsóide de Fresnel

Fonte – (MEHL, 2011)

3.5.2 CALCULO DA PRIMEIRA ZONA DE FRESNEL

Para fazer o cálculo da primeira Zona de Fresnel, foi utilizado os parâmetros da figura 11, conforme a Eq. 1:

$$r = 550 \frac{\sqrt{d1 \cdot d2}}{d \text{ link} \cdot f} \quad (1)$$

onde: r = raio da 1ª Zona de Fresnel a uma certa distância da antena [m], d_{link} = distância total do link de rádio (km), $d1$ = distância da antena 1 até o obstáculo (km), $d2$ = distância da antena 2 até o obstáculo (km), f = frequência [MHz]

3.5.3 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

Segue a Figura 12, onde pode-se exemplificar uma situação em que se aplica uma rede *Mesh* alimentada por energia solar.

Na Figura 12 pode-se observar que cada antena provê um raio de ação ao seu redor, onde disponibiliza serviços para os usuários. Em cada antena este raio será conhecido como *Basic Service Set (BSS)*, ou seja, a área de cobertura da antena. Observando a mesma figura, é possível verificar que a área de

cobertura das antenas se encontra em alguns pontos de suas extremidades, este fenômeno acaba possibilitando o funcionamento de uma rede em malha sem fio.

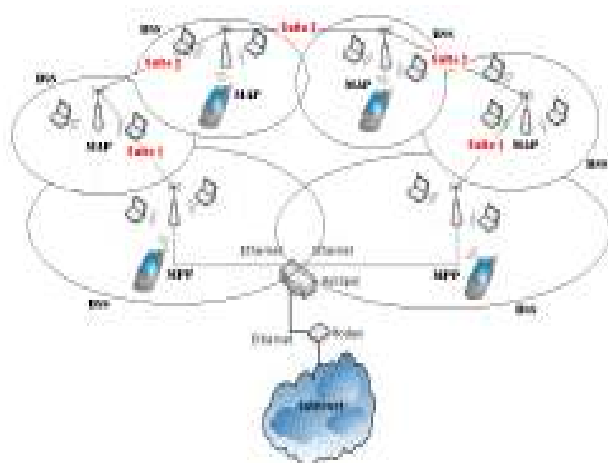


Figura 12 – Rede Mesh
Fonte – (MEHL, 2011)

Nesta montagem, foi utilizado um exemplo de como pode ser configurada uma rede em malha. No exemplo são utilizadas duas antenas funcionando como portal para a malha do sistema ou *Mesh Portal Point* (MPP) que fica responsável por atender as requisições enviadas pelos Pontos de Acesso em Malha ou *Mesh Access Point* (MAP). Para a análise de cobertura de áreas é necessário verificar o número de saltos que existem entre as antenas, para que só assim possa ter uma idéia de quantos MPPs a rede em malha terá, para que o sistema possibilite uma boa taxa de transmissão para cada usuário do protótipo.

Lembrando que para este exemplo foi utilizado dois MPPs, e que quanto menor a área de cobertura de uma rede sem fio em malha, menor será o número de MPPs que o sistema utilizará. E quanto maior for à área de cobertura da rede, mais MPPs a rede precisará obter, para manter em todas as antenas uma boa taxa de transmissão.

3.5.4 TAXAS DE TRANSFERÊNCIAS X NÚMERO DE SALTOS

Em experimentos realizados pela USP em 2008 descrevendo os parâmetros considerados para a realização dos testes de alcance do sinal, segundo a variação de distâncias, foi criado finalmente uma relação com a taxa de transferência de pacotes TCP e UDP.

O objetivo do experimento era determinar a largura de banda disponível para uma rede *Mesh*. Considerando a vazão inicial de 12 Mbps e que, da segunda para uma terceira transmissão, essa largura de banda pode cair em 30%.

Realizando o experimento, foi considerado um número máximo de seis saltos, onde se obteve como resultado uma vazão inicial de 12.2 Mbps com um salto e de 2.9 Mbps com seis saltos. (XAVIER; MARTINS. 2008)

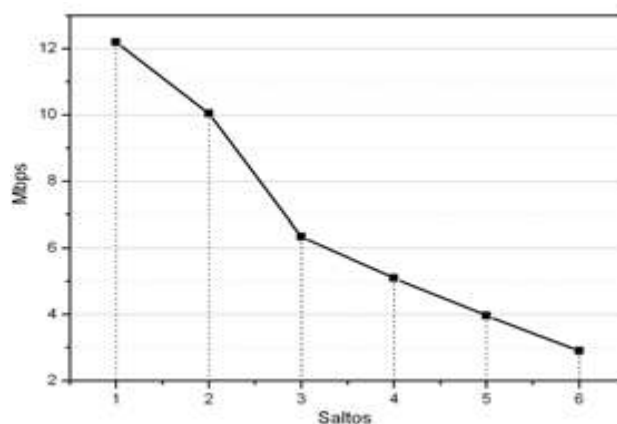


Figura 13 – Taxa de transmissão em Mbps X número de saltos

Fonte- XAVIER; MARTINS, 2008

O resultado obtido teve mostrado que a taxa de transferência é muito importante e deve ser levada em consideração ao se projetar uma rede *Mesh*. A vazão inicial utilizada foi de 12 Mbps e, se observar, ouve uma atenuação da taxa de transmissão a medida que os saltos foram aumentando. Assim, se o valor da

vazão inicial fosse inferior a 12 Mbps, automaticamente o número de saltos do sistema teria que ser menor na mesma proporção.

3.5.5 NÚMERO DE USUÁRIO POR PROTÓTIPO

O número de usuários que podem estar conectados depende de dois parâmetros, que são a largura de banda disponibilizada para o usuário e a taxa de dados que o usuário estará utilizando enquanto estiver conectado. Aplicativos como navegação na Internet, acesso a sites de relacionamento, comunidades virtuais, caixas de e-mail e transferências de arquivos, são conteúdos que consomem pouca banda, possibilitando que mais usuários possam se conectar à Internet. Aplicativos multimídia como jogos interativos, telefonia via Internet e vídeo conferência utilizam uma taxa de banda maior, provocando uma redução do número de usuários. Para exemplificar melhor como é feita a divisão de banda entre os usuários, supõe-se que a taxa de transmissão disponibilizada para o usuário seja de 54 Mbps e a banda disponível por usuário para que haja transferência de dados fosse 500 Kbps, nestas configurações, poderiam ter 108 usuários utilizando o protótipo. No dispositivo de comunicação escolhido, o fabricante possibilitou que houvesse um gerenciamento do valor de banda a ser disponibilizada para cada usuário individualmente, caso o gestor do sistema queira ter este tipo de controle. Para o funcionamento da rede é necessário cadastrar todos os rádios Meraki Mini que farão parte da rede, através do site Meraki Dashboard. Sempre que for adicionado um novo equipamento na rede, o mesmo deve ser adicionado no sistema de gerenciamento, para que possa fazer parte da rede. Através do sistema de gerenciamento é possível ver quais equipamentos estão ativos, quantos usuários estão conectados, implementar política de tráfego, limitar a banda para

cada usuário, controlar os usuários que terão acesso à Internet, atualizações de *firmware*, e outras opções.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou como é possível de maneira prática e simples, montar uma rede de computadores de comunicação sem fio alimentada por energia solar. Os valores e dados levantados, no processo de dimensionamento das etapas do sistema. Como, módulo fotovoltaico, dispositivo de comunicação, banco de baterias e controlador de carga. Tem como objetivo incentivar novas pesquisas, na criação de novas células fotovoltaicas para a produção dos módulos fotovoltaicos, aumentando a eficiência das células utilizadas atualmente. Incentivando também, estudos que desenvolvam baterias, que possuam uma maior autonomia. Além de dispositivos de comunicação que consumam menos energia possível de suas fontes e controladores de carga mais eficientes que sejam projetados para módulos fotovoltaicos de baixa potência a custo mais baixo. Isto diminuiria as dimensões do projeto, sua eficiência e, conseqüentemente, reduziria seu peso.

Embora já existam sistemas de comunicação sem fio que utilizam fontes de energia solar, ainda é muito pouco utilizado, levando em consideração a localização do país que está em uma região onde os índices de radiação diários são elevados, na maioria dos dias no ano.

A presença de dispositivos de comunicação alimentados por energia solar pode contribuir para o grande problema encontrado atualmente no cenário brasileiro, que se chama inclusão digital. Problema este que impossibilita diversas famílias brasileiras a desfrutarem de uma experiência de ter acesso à informação através da Internet.

Considerando que não apresenta impacto ao meio ambiente, que possui baixos custos e que pode

promover maior inclusão digital, acredita-se que o sistema de comunicação alimentado por energia solar

fotovoltaica venha a se expandir de forma significativa no país.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

ANEEL. Apresenta informações sobre a Agencia Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <[www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\)](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3))> Acesso em: mar. 2011.

BERNAL, Paulo. Comunicações Móveis. 3ed. 2004.

BRITO, Sérgio. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos Energia Solar Princípios e Aplicações. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br>. Acesso em: fev. 2011.

CEPEL CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. 2004

CHAGAS, Marcos Wilson Pereira. Novas Tecnologias para Avaliação de Baterias. Artigo. IEP/LACTEC. 2007

CONSUMER Super Mall. Loja virtual na Internet. Disponível em: <www.consumersupermall.com/bpsolar-30w-module-12V>. Acesso em: ago. 2011.

CRESESB Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br>. Acesso em: abr. 2011.

FAGUNDES, Eduardo Mayer. WIRELESS LAN. Artigo. 2004.

GREENPRO, Energia Fotovoltaica: Manual Sobre Tecnologias, Projeto e instalação, 2004.

INATEL - Guia das cidades digitais. 2009

KUROSE. James F. Redes de computadores. 2011
MEHL, Ewaldo Luiz de Mattos. UFPR. Disponível em: <www.eletrica.ufpr.br>. Acesso em: jul. 2011.

MINHA Casa Solar. Loja especializada em sistemas fotovoltaicos. Disponível em: <www.minhacasasolar.com.br>. Acesso em: jul. 2011.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria Metodologia do Trabalho Científico. 6ª ed. São Paulo, 2001, Ed. Atlas, 83p.

MERCADO Livre. Loja Virtual na Internet. Disponível em: <www.mercadolivre.com.br/BATERIA-SELADA-UNIPOWER>. Acesso em: maio 2011

MONTEIRO, Luis Guilherme. ZILLES, Roberto. Estratégia de controle de carga e descarga em sistemas fotovoltaicos. Artigo. USP. São Paulo, 2005.

NETO. Aimé, *et al.* - *Artigo -II* Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Regional Latino-Americana da ISES - Florianópolis, 2008-GEDAE, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará.

NOVA NetWork. Empresa de telecomunicações. Disponível em: <www.novanetwork.com.br/suporte/calculos/fresnel>. Acesso em: ago. 2011

OREQUES, Edgar. JKL Telecomunicações. Artigo Wi-Mesh. Disponível em: <www.vivasemfio.com/blog/category/ieee80211s-2010>. Acesso em: mar. 2011.

PHOCOS. Disponível em: <www.phocos.com/pt-BR/datasheet>. Acesso em: jul. 2011.

SOLENERG. Disponível em: <www.solenerg.com.br>. Acesso em: fevereiro de 2011.

Revista de Gestão da Tecnologia e Sistemas de Informação. *Journal of Information Systems and Technology Management*. Vol. 5, No. 2, 2008.

SILVA, Hugo Gil. AFONSO, Marcos. IET Working Papers Series. Energia solar fotovoltaica: Contributo para um *roadmapping* do seu desenvolvimento tecnológico. 2009.

VIERO, Renan Caron. Lopez, Henrique. Controle Digital do Conversor ZETA Alimentado por Painéis Fotovoltaicos Operando no MCD. Artigo. PUC-RS, 2009.

WNI, Representante Meraki. Disponível em: <www.wni.com.br/downloads/merakirev2>. Acesso em: abr. 2011.

XAVIER, Wesley. MARTINS, Guilherme. Revista de Gestão da Tecnologia e Sistemas de Informação, 2008.